

Kemian tekniikan korkeakoulu
Kemian tekniikan koulutusohjelma

Meri Nihtilä

**Pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallinnan kestävyysarviointi ja
siihen käytettävät menetelmät**

**Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-
insinöörin tutkintoa varten Espoossa 15.11.2016.**

Valvoja

Professori Jaana Sorvari

Ohjaaja

DI Outi Pyy

Tekijä Meri Nihtilä

Työn nimi Pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallinnan kestävyysarviointi ja siihen käytettävät menetelmät

Laitos Biotekniikan ja kemian tekniikan laitos

Professuuri Ympäristötekniikka

Professuurikoodi Yhd-73

Työn valvoja Professori Jaana Sorvari

Työn ohjaaja(t)/Työn tarkastaja(t) DI Outi Pyy

Päivämäärä 15.11.2016

Sivumäärä 88 + 28

Kieli Suomi

Tiivistelmä

Suomessa kunnostetaan vuosittain noin 250–300 pilaantunutta maa-aluetta. Tällä hetkellä maa-alueet kunnostetaan useimmissa tapauksissa kaivamalla ja loppusijoittamalla maa-ainekset kaatopaikalle tai muille käsittelylaitoksille. Kaivu ja siihen liittyvät kuljetukset kuluttavat energiaa ja luonnonvarjoja sekä synnyttävät kasvihuonekaasupäästöjä. Kaivamiseen ja loppusijoitukseen perustuva kunnostus on harvoin kestävä kehityksen periaatteiden mukainen menettely.

Kestävyysarvioinneilla pyritään ohjaamaan pilaantuneiden maa-alueiden kunnostushankkeiden suunnittelua kestävämpään suuntaan ottamalla huomioon kestävyden kolme osatekijää; ympäristö-, taloudelliset ja sosiaaliset vaikutukset. Työn kirjallisuusosassa selvitettiin, minkälaisia menetelmiä, työkaluja ja malleja eri maissa on käytössä kestävyysarviointeihin. Työkalujen periaatteet vaihtelevat monimutkaisemmista monikriteerianalyseistä yksinkertaisempiin taulukointimalleihin. Toistaiseksi pilaantuneiden maa-alueiden (PIMA) riskinhallintaan soveltuvia kestävyysarviointityökaluja on saatavilla rajoitetusti, sillä suurin osa kehitetty tutkimushankkeissa, eikä ole tietoa siitä, käytetäänkö työkaluja tutkimuslaitosten ulkopuolella.

Työn kokeellisessa osassa testattiin kahta monikriteerianalyysiin perustuvaa työkalua, nimittäin GoldSET- ja PIRTU- laskentaohjelmia, neljässä erilaisessa suomalaisessa kunnostushankkeessa (huoltoasema, ampumarata, saha ja kauppapuutarha). Jokaisessa kohteessa ohjelmilla verrattiin eri kunnostusvaihtoehtoja. Tehtyjen arviointien perusteella huomattiin, että testatut arviointityökalut eivät Suomessa sovellu suoraan kaikkiin PIMA-kohteisiin. Työkalujen arvioitiin soveltuvan paremmin suurten ja haasteellisten kohteiden kestävyysarviointiin. Pienemmissä kohteissa kvantitatiivisilla arvioinneilla saavutettu hyöty ei välttämättä ole merkittävä suhteessa arvioinnin tietotarpeista aiheutuvaan työmäärään. Lisäksi havaittiin, että etenkin laadullisessa arvioinnissa on tärkeä kuulla suunnittelijoiden ja viranomaisten lisäksi myös muita kunnostushankkeeseen osallistuvia tahoja.

Pilaantuneiden maa-alueiden riskinhallinnan kestävyys on monen tekijän summa. Siihen kuuluvat niin alueelliset ratkaisut kuin ratkaisut yksittäisissä hankkeissa. Kvantitatiivinen kestävyysarviointi mahdollistaa systemaattisen ja perustellun kestävyden huomioon ottamisen. Tämän lisäksi kestävä riskinhallinnan edistämiseen tulisi vastata taloudellisten ja hallinnollisten ohjauskeinojen käyttöönoton tehostamisella sekä kunnostusmenetelmien tutkimuksella, yleisellä koulutuksella ja selkeällä viestinnällä.

Avainsanat maaperä, pilaantuminen, kunnostus, riskienhallinta, kestävä kehitys

Author Meri Nihtilä

Title of thesis Sustainability Assessment of Contaminated Sites in Finland

Department Department of biotechnology and chemical technology

Professorship Environmental Engineering**Code of professorship** Yhd-73

Thesis supervisor Professor Jaana Sorvari

Thesis advisor(s) / Thesis examiner(s) M.Sc. Outi Pyy

Date 15.11.2016**Number of pages** 88 +28**Language** Finnish

Abstract

Around 250 contaminated sites are annually remediated in Finland. At present, most of the sites use excavation and off-site disposal as a remediation method. Excavation and transports of the contaminated soil cause significant greenhouse gas emissions and they consume non-renewable resources unless the soil is recycled. The method based in excavation and off-site disposal is rarely in accordance with the principles of sustainable development.

In the context of contaminated site remediation, sustainability appraisal aims to steer the planning of the remediation towards sustainability by taking into account all the three elements of sustainability; environmental, economic and social. In the literature part, models and tools used in different countries for the sustainability assessment were investigated. The assessment tools vary from complicated, quantitative multi-criteria analysis tools to simple qualitative matrixes. So far only a limited number of tools are available as many of the tools were developed for research purposes. It is unclear whether the tools are used outside research institutes.

The experimental part of the thesis included investigation of two tools for quantitative sustainability assessment, known as GoldSET and PIRTU. Both tools were tested with four different contaminated sites (gas station, shooting range, sawmill and market garden) and several remediation options. The study showed that the tools need to be further developed to be suitable for common use in Finland. Both tools are most suitable for big and challenging remediation projects. For small sites the advantages gained with the assessment may not outweigh the amount of work used for the assessment. GoldSET includes many qualitative indicators. For the qualitative analysis, it is important to engage additional stakeholders in the remediation project in addition to consultants and authorities.

Sustainable risk management of contaminated sites is a sum of different factors. It includes both regional solutions and solutions related to single remediation projects. Quantitative sustainability appraisal enables a systematical and justified consideration of all sustainability factors. In addition, advancement of sustainability requires policy instruments and economic instruments, research of the remediation methods, education and clear communication.

Keywords soil remediation, contamination, risk management, sustainability

Alkusanat

Työ toteutettiin osana Valtioneuvoston tilaamaa pilaantuneiden maa-alueiden kestävät riskinhallintakeinot – hanketta (PIRISTE). Hankkeen toteutuksesta vastasivat Aalto yliopisto ja Suomen ympäristökeskus. Haluan kiittää kaikkia hankkeessa mukana olleita työni tukemista ja rahoittamisesta.

Erityisesti haluan kiittää ohjaajani Outi Pyytä Suomen ympäristökeskuksesta kannustavista ja rakentavista kommentteista ja ohjauksesta sekä avusta koko työni ajan.

Suuret kiitokset professori Jaana Sorvarille työn valvomisesta, asiantuntevista kommentteista ja ohjeista sekä erinomaisista puitteista työskennellä Otaniemessä.

Haluan lisäksi esittää kiitokseni Mikko Rautioille ja Sanna Pyysingille Pöyry Oyj:stä avusta ja kommentteista huoltoasemakohteen arvioinnissa. Suuret kiitokset myös Golder Associatesin Pirjo Tuomelle ja Kim Branderille, jotka mahdollistivat GoldSET – ohjelman käytön työssäni.

Haluan kiittää perhettäni rohkaisusta ja tuesta niin diplomityön kuin koko opiskelujeni ajalta. Suuri kiitos myös kaikille ystäväilleni, jotka teitte opiskeluajastani Otaniemessä ikimuistoisen.

Nyt on uusien seikkailujen aika!

Espoo, 15.11.2016

Meri Nihtilä

Sisällysluettelo

1. Johdanto.....	1
1.1 Työn taustaa.....	1
1.2 Tutkimuksen lähtökohta, tavoitteet ja rajaukset	4
2. Pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallinta	6
2.1 Riskinarviointi.....	6
2.2 Kunnostaminen Suomessa.....	9
2.3 Valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallintastrategia	11
3. Pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallintamenetelmien kestävyysarviointi	14
3.1 Kestävyysarvioinnin periaatteet	14
3.2 Kestävyyden indikaattorit	15
3.2.1 Ympäristövaikutukset	16
3.2.2 Sosiaaliset vaikutukset	17
3.2.3 Taloudelliset vaikutukset	19
3.3 Kvalitatiiviset menetelmät	20
3.4 Monikriteerianalyysi	23
3.5 Elinkaarianalyysi.....	24
3.6 Jalanjälkianalyysit.....	26
3.7 Kustannus-hyötyanalyysi	28
3.8 Vertailuja arviointityökalujen käytöstä.....	31
4. Tutkimusaineisto ja menetelmät	34
4.1 Arviointimenetelmät.....	34
4.1.1 Kestävyyden arviointityökalujen valinta.....	34
4.1.2 GoldSET – työkalu	35
4.1.3 PIRTU- työkalu.....	37
4.2 Esimerkkikohteet	39

4.2.1 Öljyhiilivedyillä pilaantunut huoltoasema	39
4.2.2 Ampumaratakohde	44
4.2.3 Saha-alue.....	47
4.2.4 Kauppapuutarha	50
5. Työn tulokset ja tulosten tarkastelu	54
5.1 GoldSET –työkalulla tehty huoltoasemakohteen kestävyysarviointi	54
5.1.1 Valitut indikaattorit ja niiden painokertoimet.....	54
5.1.2 Laadullisen analyysin tulokset	56
5.1.3 Kvantitatiivisen kestävyysanalyysin tulokset.....	56
5.1.4 Eri kunnostusvaihtoehtojen kestävyys	57
5.1.5 Tarkasteltavat kriteerit PIRTU-ohjelmassa	59
5.1.6 PIRTU-analyysin tulokset	60
5.1.7 Huoltoasemakohteen tulosten tarkastelu.....	64
5.2 GoldSET- tulokset ampumaratakohteelle.....	65
5.2.1 Indikaattorien valinta.....	65
5.2.2 Kvalitatiivisen analyysin tulokset	66
5.2.3 Kvantitatiivisen analyysin tulokset	67
5.2.4 Kestävyysarvioinnin tulokset ja tulosten tarkastelu	68
5.3 Saha-alueen GoldSET-ohjelman kestävyysarviointi.....	70
5.3.1 Valitut kestävyysindikaattorit ja niiden painokertoimet	70
5.3.2 Kvalitatiivisen analyysin tulokset	71
5.3.3 Kvantitatiivisen analyysin tulokset	71
5.3.4 Kestävyysarvioinnin tulokset ja tulosten tarkastelu	72
5.4 Kauppapuutarhakohteen GoldSET-ohjelman kestävyysarviointi	74
5.4.1 Valitut indikaattorit ja niiden painokertoimet.....	74

5.4.2 Kvalitatiivisen analyysin tulokset	75
5.4.3 Kvantitatiivisen analyysin tulokset	75
5.4.4 Kestävyysarvioinnin tulokset ja tulosten tarkastelu	76
6. Tutkimustulosten tarkastelu	78
6.1 Työkalujen soveltuvuus ja kehitystarpeet	78
6.1.1 GoldSET-työkalun kehitystarpeet ja muokattavuus	78
6.1.2 PIRTU – työkalun kehitystarpeet ja muokattavuus	79
6.2 Työkalujen luotettavuus, mahdolliset virhelähteet ja rajaukset	81
7. Johtopäätökset ja kestävyysarvioinnin tulevaisuuden näkymät	82
8. Lähdeluettelo	84

LIITE 1 Kvalitatiiviset kestävyiden arviointiin kehitetyt työkalut

LIITE 2 GoldSET-ohjelman indikaattorit sekä niiden kuvaukset

LIITE 3 Huoltoasemakohteen skaalatut tulokset

LIITE 4 Ampumaradan skaalatut tulokset

LIITE 5 Sahan skaalatut tulokset

LIITE 6 Kauppapuutarhan skaalatut tulokset

LIITE 7 Päätösmallit pilaantuneiden maa-alueiden riskinhallinnalle

Lyhenteet ja termit

BTEX	Sekoitus bentseeniä, tolueenia ja ksyleeni-isomeerejä
CBA	Kustannushyötyanalyysi, Cost-Benefit Analysis
CO ₂ -e	Hiilidioksidiekvivalentti
DDT	Diklooridifenyylitrikloorietaani
DDE	Diklooridifenyylidikloorieteeni
DDD	Diklooridifenyylidikloorietaani
ELY-keskus	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
GoldSET- ohjelma	Golder Associatesin kehittämä työkalu pilaantuneiden maa-alueiden kunnostuksen kestävyysarviointiin
<i>In situ</i> - kunnostus	Paikalla tapahtuva maaperän kunnostus
JASKA-hanke	Ympäristöministeriön ja öljysuojarahaston riskialueilla sijaitsevien, öljyllä pilaantuneiden maa-alueiden tutkimus- ja kunnostushanke
Kestävä riskienhallinta	Riskienhallinnan suunnittelu ja toteutus siten, että kokonaishyödyt ovat mahdollisimman suuret huomioiden toiminnan ympäristölliset, taloudelliset ja sosiaaliset vaikutukset. Keskeisenä lähtökohtana on vaihtoehtoisten kunnostusmenetelmien etujen ja haittojen järjestelmällinen vertailu, jonka perusteella tunnistetaan kestävimät menetelmät.
LCA	Elinkaarianalyysi, Life Cycle Assessment
MATTI	Maaperän tilan tietojärjestelmä
MCA	Monikriteerianalyysi, Multicriteria Analysis
PIMA	Pilaantunut maa-alue
PIMA-asetus	Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista (VNA 214/2007)
PIRISTE	Pilaantuneiden maa-alueiden kestävät riskinhallintakeinot – hanke

PIRRE	Suomen ympäristökeskuksen koordinoima Pilaantuneen maaperän ja pohjaveden riskinhallintaratkaisujen ekotehokkuus – hanke
PIRTU-ohjelma	PIRRE-hankkeen puitteissa kehitetty työkalu pilaantuneiden maa-alueiden kunnostushankkeen ekotehokkuus-/kestävyysarviointiin
Riskienhallinta	Toimet, joilla haittoja tai riskejä vähennetään tai eliminoidaan Tämä voi tarkoittaa esimerkiksi haitta-aineiden päästölähteiden poistoa tai kulkeutumis- ja altistumisreittien katkaisua. Riskienhallintaprosessiin sisältyy näiden toimien suunnittelu, vertailu, valinta ja käytännön toteutus.
SOILI-ohjelma	Öljyalan kunnostusohjelma suljettujen huolto- ja jakeluasemien öljyllä pilaantuneen maaperän kunnostamiseksi
SURF	Sustainable Remediation- foorumi
SYKE	Suomen ympäristökeskus

1. Johdanto

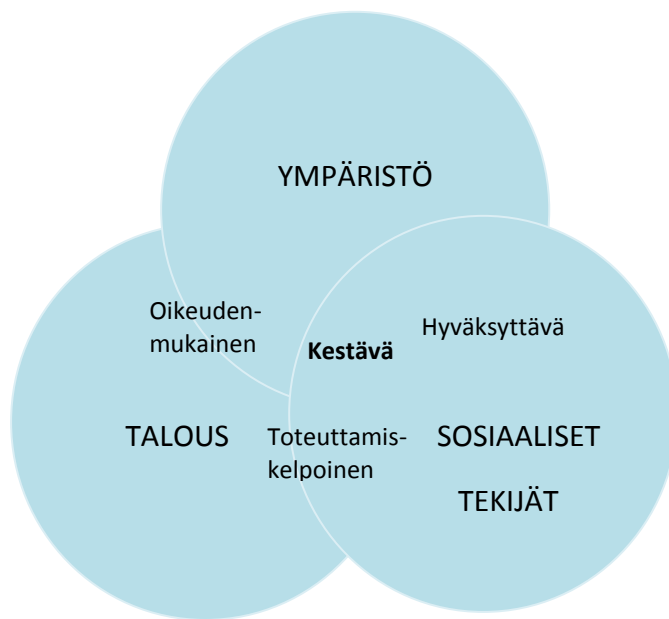
1.1 Työn taustaa

Kestävän kehityksen periaatteet ovat viime vuosina nousseet esille usealla sektorilla. Kestävä kehitys määriteltiin ensimmäisen kerran Brundtlandin komissiossa vuonna 1987 kehitykseksi, joka varmistaa, ettei tämän hetken resurssien, luonnonvarojen ja ympäristön hyödyntäminen tule rajoittamaan niiden hyödyntämistä myös seuraavassa sukupolvessa (Yhdistyneet kansakunnat, 1987). Kestävän kehityksen periaatteet ovat sittemmin muovautuneet kattavaksi ja monipuoliseksi kokonaisuudeksi, jossa otetaan tasavertaisesti huomioon ympäristölliset, taloudelliset ja sosiaaliset vaikutukset (kuva 1). Periaatteita on pyritty hyödyntämään laajalti päätöksenteossa sekä monen eri sektorin toiminnassa esimerkiksi politiikassa ja yritysmaailmassa. (Suomen kestävän kehityksen toimikunta, 2006)

Pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallinta on toimintaa, joka kattaa koko riskejä koskevan suunnittelu - ja päätöksentekoprosessin. Riskienhallintaan sisältyy pilaantuneille maa-alueille suoritettava riskinarviointi sekä kaikki toimet riskien estämiseksi että vähentämiseksi. Riskienhallinnan ensisijainen tavoite on kohteessa merkittäviksi havaittujen haittojen ja riskien vähentäminen hyväksyttävälle tasolle. Riskien estäminen ja vähentäminen toteutetaan tyypillisesti päästölähteisiin tai kulkeutumisreitteihin kohdistuvilla kunnostustoimenpiteillä (Ympäristöministeriö, 2014).

Kestävän kehityksen periaatteet tulisi huomioida myös pilaantuneiden maa-alueiden (PIMA) riskienhallinnassa. PIMA-kohteiden riskienhallinnassa kestävä kehitys määritelty siten, että hankkeen suunnittelulla ja toteutuksella saavutetaan mahdollisimman suuret kokonaishyödyt. PIMA-toimintasektorilla kestävyys periaatteita voidaan toteuttaa kansainvälisellä, kansallisella ja alueellisella tasolla sekä yksittäisissä kunnostushankkeissa. Kansainvälisellä ja kansallisella tasolla kestävyttä voidaan toteuttaa strategioiden, säädösten ja sopimusten valmistelulla, jotka ohjaavat ympäristöä kuormittavaa toimintaa ja toimijoita kestäviin

käytäntöihin. Alueellisesti kestävän kehityksen periaatteita voidaan toteuttaa sellaisella maankäytön suunnittelulla ja rakentamisella, joilla tuetaan maa-alueiden ja luonnonvarojen kestävää käyttöä. Tämä voi tarkoittaa muun muassa pilaantuneisuuden huomioimista kaavoituksessa sekä pilaantuneiden maa-ainesten hyötykäytön edistämistä. Yksittäisessä kunnostushankkeessa kestävyttä voidaan edistää muun muassa kestävien kunnostusmenetelmien valinnalla. (Ympäristöministeriö, 2014)



Kuva 1. Kestävässä riskinhallinnassa taloudelliset, ympäristölliset sekä sosiaaliset tekijät ovat tasapainossa. (Ympäristöministeriö, 2014)

Suomessa kunnostetaan vuosittain noin 250–300 pilaantunutta maa-aluetta ja edelleen noin 10 000 kohdetta edellyttää kunnostus- tai muita riskinhallintatoimia. Maankäytön muutos ja rakentaminen sekä muutokset alueen omistus- ja hallintasuhteissa ovat keskeisiä syitä kunnostuksen aloittamiselle. Pilaantuneen maa-alueen kunnostaminen tehdään yleensä terveysriskien vähentämiseksi sekä maankäytön rajoitteiden poistamiseksi rakennettavilla asutusalueilla ja pohjavesialueilla. Alueet kunnostetaan pääosin kaivamalla pilaantuneet maa-ainekset ja loppusijoittamalla ne kaatopaikalle tai muihin käsittelylaitoksiin. Kaivamiseen perustuvan tekniikan käytön merkittävimpiä syitä ovat

kunnostustoimien kytkeytyminen muuhun rakentamiseen, kaivuhankkeen suunnittelun ja toteutuksen yksinkertaisuus ja kustannusten, aikataulujen ja työn lopputuloksen helppo ennakoitavuus. Pohjavesien kunnostus tapahtuu usein suojapumppauksin. Muita, kuten kohteessa suoritettavia *in situ* - kunnostuksia tehdään vuosittain 10–15 kohteessa, ja ne on toteutettu pääosin öljyalan SOILI-ohjelmassa sekä öljysuojarahaston JASKA-hankkeessa. (Ympäristöministeriö, 2015)

Kaivusta ja kuljetuksista johtuen kaivamiseen ja loppusijoittamiseen perustuva kunnostus kuluttaa paljon energiaa ja synnyttää kasvihuonekaasupäästöjä. Menetelmässä kulutetaan myös luonnonvaroja, ellei maa-aineksia hyödynnetä. Näin ollen tekniikkaa ei voida yleensä pitää kestäväenä riskinhallintakeinona eikä se toteuta kiertotalouden periaatteita. Kaivamisen sijaan tai sen yhteydessä monissa kohteissa voitaisiin käyttää paremmin kestävyyttä tukevia *in situ* – menetelmiä. Myös pohjavesien kunnostuksissa pumppaamisen sijaan olisi usein mahdollista käyttää *in situ* – puhdistusmenetelmiä. Tällä hetkellä *in situ* -menetelmien käyttö ja tarjonta on kuitenkin Suomessa vielä rajallista. Myös kaivettujen maamassojen hyötykäytössä on kehittämistä. Kaivetut maamassat kuljetetaan usein kaatopaikalle tai muihin massoja vastaanottaviin käsittelylaitoksiin. Massojen hyötykäyttö kohteessa on vähäistä. Tulevaisuudessa tullaan rajoittamaan kierrätyskelpoisen jätteen kaatopaikkasijoittamista, kun kaatopaikkoja on Suomessa päätetty vähentää vähitellen. Tällöin maa-ainekset ohjautuvat väistämättä käsittelyyn ja muunlaiseen hyötykäyttöön. (Ympäristöministeriö, 2015)

Pilaantuneiden maa-alueiden riskinhallinnan kestävyysarvioinneilla pyritään ohjaamaan kunnostushankkeiden suunnittelua ja päätöksentekoa kestävämpään suuntaan. Tavoitteena on, että kunnostusmenetelmät valikoituisivat siten, että saavutettavat kokonaishyödyt ovat mahdollisimman suuret ottaen huomioon kestävyuden kolme osatekijää; ympäristö-, taloudelliset ja sosiaaliset vaikutukset. Arvioinnin avulla pyritään edistämään myös muita kestäviä ratkaisuja pilaantuneiden maa-alueiden riskinhallinnassa, kuten massojen hyötykäyttöä ja pilaantuneisuuden huomioimista kaavoitusvaiheessa. (Ympäristöministeriö, 2014)

Kestävälle kunnostukselle ollaan tällä hetkellä luomassa Soil Quality – Guidance on Sustainable Remediation - ISO standardia, jossa määritellään kestävään kunnostukseen ja sen arvioitiin liittyviä käsitteitä ja arviointiperiaatteita. Standardin yhtenä tarkoituksena on opastaa kestävyysarviointien tekemiseen. (ISO 18504, 2015).

1.2 Tutkimuksen lähtökohta, tavoitteet ja rajaukset

Tämän diplomityön tavoitteena oli tunnistaa erilaisia pilaantuneiden maa-alueiden riskinhallinnan kestävyysarviointiin käytettäviä menetelmiä ja malleja ja sitä kautta tukea pilaantuneiden maa-alueiden kestävien ja kiertotaloutta edistävien riskinhallintamenetelmien käyttöönottoa Suomessa. Lisäksi tarkasteltiin erilaisten arviointimenetelmien soveltuvuutta Suomen olosuhteisiin. Tällä hetkellä kestävyys arviointimenetelmien käyttö pilaantuneiden maa-alueiden kunnostusten suunnittelussa on maassamme vähäistä.

Kirjallisuusosassa laadittiin katsaus Suomessa käytössä olevista pilaantuneiden maa-alueiden riskinhallintamenetelmistä sekä menetelmistä näiden vertailemiseksi. Kirjallisuusosassa kerättiin myös tietoa Suomessa ja muissa maissa riskinhallinnan kestävyysarviointiin käytetyistä menetelmistä, malleista ja työkaluista.

Työn kokeellisessa osassa testattiin valittuja kestävyys arviointimenetelmiä. Testaukseen valittiin erilaisia kohteita, joissa haitta-aineet sekä kunnostuksen laajuus vaihtelivat. Kohteet valikoituivat myös sen mukaan, että tarkoituksena oli testata arviointityökaluja Suomelle tyypillisissä PIMA-kohteissa. Testauksen perusteella arvioitiin menetelmien käyttökelpoisuutta, rajoitteita ja kehitystarpeita ajatellen Suomen olosuhteita.

Työssä keskityttiin yksittäisten kunnostushankkeiden kestävyysarviointiin. Työ rajattiin PIMA-kunnostushankkeisiin kehitettyihin kestävyys arviointityökaluihin, joissa verrataan eri kunnostusmenetelmiä ja niiden kestävyyttä kyseisessä kunnostuskohteessa. Kestävyysarviointi toteutetaan yleensä kunnostuksen suunnitteluvaiheessa. Työhön ei sisällytetty kunnostuksen muihin vaiheisiin, kuten

esimerkiksi kunnostuskohteen tutkimiseen tai kunnostuksen jälkeiseen monitorointiin kehitettyjä työkaluja.

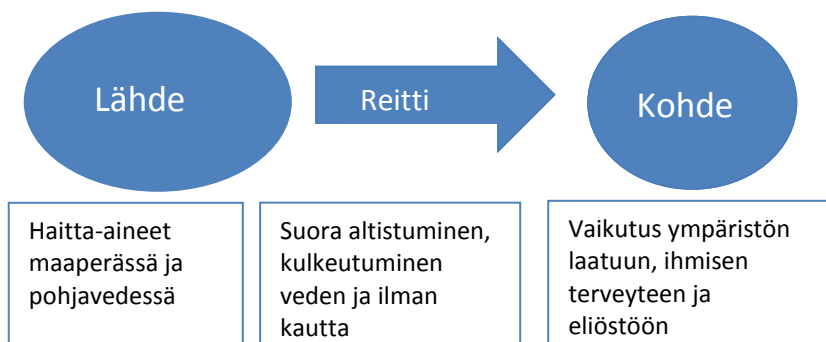
Työ oli osa Suomen ympäristökeskuksen ja Aalto yliopiston toteuttamaa pilaantuneiden maa-alueiden kestävä riskinhallintakeinot – hanketta (PIRISTE). Hankkeen tavoitteena oli edistää kestävien ja kiertotaloutta tukevien kunnostusmenetelmien käyttöönottoa sekä Valtakunnallisen pilaantuneiden maa-alueiden riskinhallintastrategian ja hallituksen ”Pilaantuneiden maa-alueiden kunnostus - ja kokeiluohjelma” – kärkihankkeen toimeenpanoa. Hankkeessa keskityttiin kestävyystarkastelun lisäksi selvittämään ohjauskeinoja, joilla pilaantuneiden maa-alueiden riskinhallintaratkaisuja voidaan suunnata kilpailukykyiseen ja kiertotaloutta edistävään suuntaan, sekä maa-ainesten hyötykäyttöön liittyviä haasteita.

2. Pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallinta

2.1 Riskinarviointi

Ympäristön pilaantumista koskevan lainsäädännön velvoitteiden täyttäminen edellyttää pilaantumisesta aiheutuvien riskien arviointia. Maaperän ja pohjaveden pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista on säädetty PIMA-asetuksessa (214/2007). Arvioinnissa pilaantuneen maaperän ja pohjaveden haitallisista aineista ympäristölle ja terveydelle aiheutuvat haitat ja riskit tunnistetaan ja niiden merkittävyys arvioidaan kohdekohtaisesti. Ympäristölle aiheutuvat riskit ja haitat kattavat haitta-aineista johtuvat, eri ympäristönsiin ja luonnonvarojen käyttöön sekä yleiseen viihtyvyyteen liittyvät vaikutukset. Ihmisten terveyden osalta lähtökohtana on haitta-aineille altistumisen määrittäminen ja sen seurauksena aiheutuvien haitallisten seurausten selvittäminen. (Ympäristöministeriö, 2014)

Riskinarvioinnissa määritetään haittojen lähde, reitit sekä kohde. Pilaantuneiden maa-alueiden haittojen lähteenä ovat maaperässä ja/tai pohjavedessä olevat kemialliset aineet. Niiden aiheuttamat haitat voivat kohdistua ympäristön laatuun, ihmisen terveyteen ja eliöstöön. Haitta-aineet voivat vaikuttaa suoran altistumisen kautta tai välillisesti, veden ja ilman mukana tapahtuvan kulkeutumisen kautta. Kuvassa 2 on esitetty haitan ja riskin muodostuminen pilaantuneella maa-alueella. (Ympäristöministeriö, 2014)



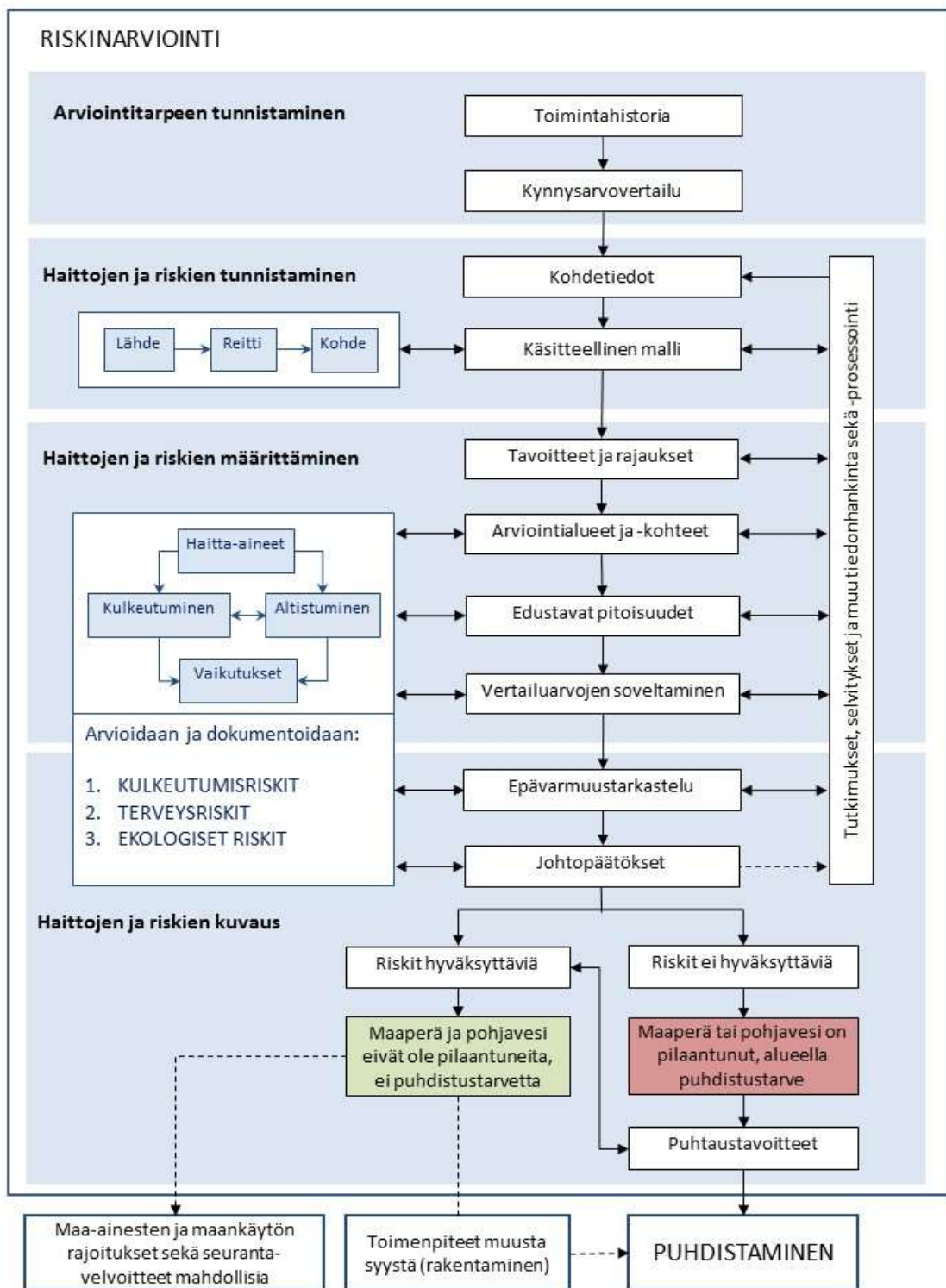
Kuva 2. Haitan ja riskin muodostuminen pilaantuneella maa-alueella. (Ympäristöministeriö, 2014)

Riskinarviointi koostuu yleisesti useasta vaiheesta (kuva 3). Riskinarviointi aloitetaan arviointitarpeen, mahdollisten haittojen ja riskien tunnistamisella. Tunnistamiseen

käytetään käytössä olevaa tietoa kohteen toimintahistoriasta, maankäytöstä ja ympäristöolosuhteista sekä kohteessa esiintyvien haitta-aineiden pitoisuuksista, esiintymisestä ja ominaisuuksista. Näiden tietojen perusteella voidaan muodostaa alustava käsitteellinen malli. Käsitteellisessä mallissa kuvataan haitta-aineet ja niiden lähteet, mahdolliset altistujat ja muut vaikutuskohteet sekä haitta-aineiden mahdolliset kulkeutumisreitit ja altistumistilanteet. (mm. Ympäristöministeriö, 2014)

Riskinarviointimenettelyn seuraavassa vaiheessa määritetään tunnistettujen haittojen ja riskien suuruudet. Haittojen ja riskien suuruuksien määrittämisessä voidaan käyttää kirjallisuustietoa, laboratorio- ja kenttämittauksia sekä laskentoihin perustuvia menetelmiä. (Ympäristöministeriö, 2014)

Haittojen ja riskien kuvauksessa tulkitaan edellisen arviointivaiheen tuloksia ja analysoidaan niiden merkitsevyyttä. Tähän osaan sisältyy myös epävarmuustarkastelu, jossa arvioidaan riskinarvioinnin luotettavuutta. Johtopäätöksissä esitetään perusteltu arvio haittojen ja riskien hyväksyttävyydestä sekä mahdollisista jatkotoimenpiteistä. Myös arvioinnin dokumentointi on keskeinen osa arviointia. Dokumentoinnin tulee olla ymmärrettävää, informatiivista, johdonmukaista ja läpinäkyvää. (Ympäristöministeriö, 2014)



Kuva 3. Riskinarvioinnin vaiheet pilaantuneeksi epäillyllä maa-alueella. (Ympäristöministeriö, 2014)

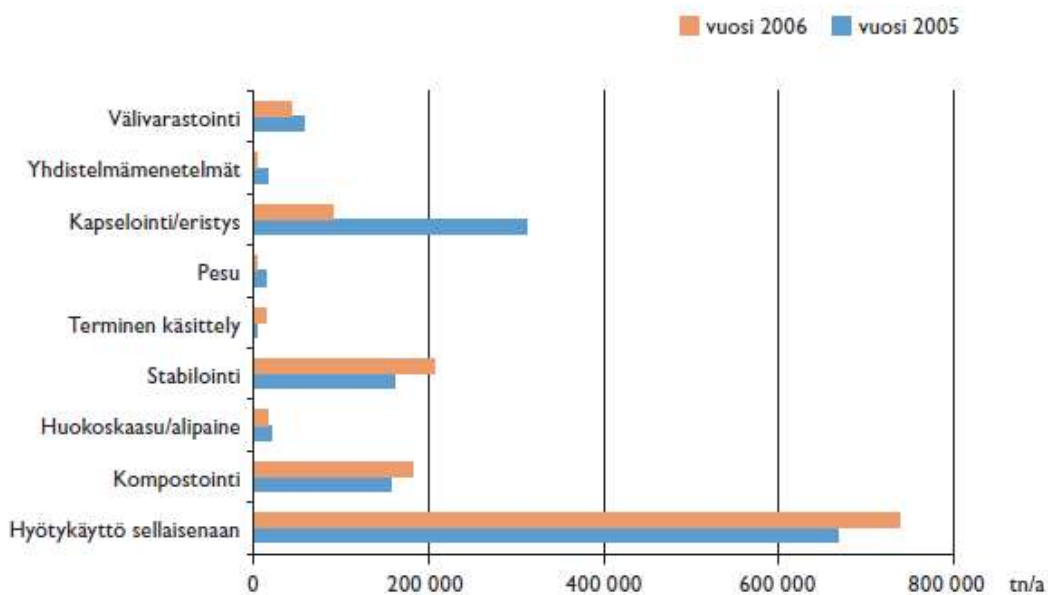
Riskinarvioinnin suorittaa yleensä kunnostuksen suunnittelusta vastaava yritys, joka välittää riskinarvioinnin tulokset viranomaisille ja kunnostuksen tilaajalle.

Viranomaisen ilmaisee lopulta päätöksessään, ovatko haitat ja riskit hyväksyttäviä ja asettaa tavoitteet alueen puhtaustasolle.

2.2 Kunnostaminen Suomessa

Riskinarvioinnin jälkeen suoritetaan tarvittaessa varsinainen kunnostaminen. Kunnostuksia tehdään terveys- ja ympäristöriskien vähentämiseksi. Yleisimpiä syitä, jotka käynnistävät kunnostuksen ovat maankäytön muutokset sekä kaivu- ja rakennustyöt. Kunnostustarve alueella syntyy usein silloin, kun alueen käyttö muuttuu herkempään suuntaan esimerkiksi, kun teollisuusalue muutetaan asuinalueeksi. Myös kiinteistön omistus- tai vuokraussuhteiden muuttuessa alueen uusi omistaja saattaa edellyttää alueen tilan selvittämistä ja haitta-aineiden poistamista. Maaperän kunnostustarve on selvitettävä myös ympäristöluvan varaisten toimintojen päättyessä. (Pyy et al., 2013)

Pilaantuneiden maa-alueiden kunnostaminen toteutetaan pääosin (noin 90 %) kaivamalla pilaantunut maa-aines sekä sijoittamalla se kaatopaikalle tai muihin käsittelylaitoksiin kunnostettavan alueen ulkopuolelle. Kaivettujen pilaantuneiden maa-alueiden kunnostusmenetelmiä selvitettiin viimeksi valtakunnallisesti vuosina 2005 ja 2006 (kuva 4). Tuolloin yleisimpiä käsittelymenetelmiä olivat maa-ainesten loppusijoitus kaatopaikoille, kompostointi ja stabilointi. Suurin osa kaivetuista maa-aineksista sijoitettiin kaatopaikoille, joissa ne hyödynnettiin sellaisenaan ilman käsittelyä kaatopaikkojen peitemaina ja rakenteina. Hyödynnetyt maa-ainekset olivat usein lievästi pilaantuneita. (Pyy et al., 2013)



Kuva 4. Pilaantuneiden maa-ainesten käsittelymenetelmät vuosina 2005 ja 2006. Eristys/Kapselointi sisältää maa-ainesten loppusijoituksena jätteenä kaatopaikalla. Hyötykäyttö sellaisenaan sisältää massojen hyödyntämisen kaatopaikoilla esimerkiksi niiden rakenteissa. (Pyy et al., 2013)

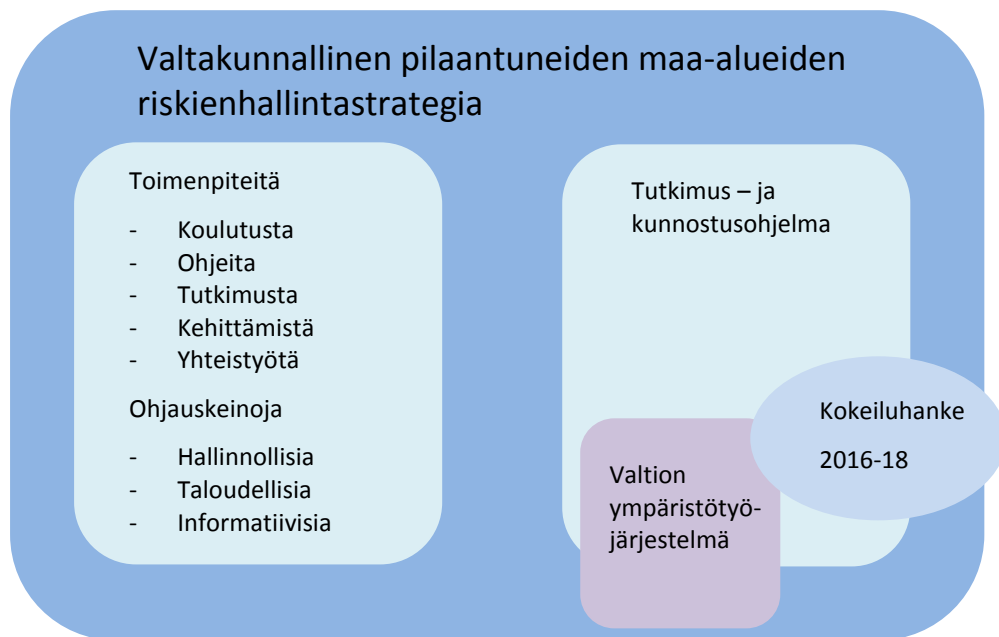
Suurin osa kaivettujen pilaantuneiden maa-ainesten vastaanottajista on kaatopaikkoja, jotka käyttävät maita peitemaina, rakenteissa sekä täyttöalueen sulkemisessa. Muut pilaantuneiden maa-ainesten käsittelijät hyödyntävät vain vähän käsittelemiään massoja esimerkiksi varasto- ja käsittelykenttien rakentamisessa. Useimmiten käsitellyt maa-ainekset toimitetaan siis kaatopaikalle. Muu pilaantuneiden maa-ainesten hyötykäyttö on ollut rakentamisessa, kuten esimerkiksi tierakenteissa ja melusteissa, vähäistä. (Pyy et al., 2013)

PIMA-kohteessa suoritettavia kunnostuksia, kuten *in situ* – kunnostuksia, tehdään vuosittain noin 10–15 kohteessa. Toistaiseksi *in situ* – kunnostuksia on toteutettu pääasiassa öljyalan SOILI - sekä Öljysuojarahaston JASKA - ohjelmissa (Ympäristöministeriö, 2015). Suomessa käytettyjä *in situ* - menetelmiä ovat muun muassa huokosilmäkäsittely, kemiallinen hapetus sekä biologiset menetelmät (Pyy et al., 2013). Huokosilmäkäsittelyllä poistetaan alipaineen avulla helposti haihtuvia orgaanisia yhdisteitä maaperästä. Kemiallisessa hapetuksessa puolestaan maaperään lisätään haitta-aineita hapettavia reagensseja. Biologiset menetelmät perustuvat

erilaisten mikro-organismien, sienien ja kasvien kykyyn hajottaa haitta-aineita. *In situ* – menetelmiä on käytetty erityisesti öljyhiilivedyillä pilaantuneen maaperän (ml. pohjavesi) kunnostamisessa. (CLAIRE, 2010)

2.3 Valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallintastrategia

Valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallintastrategia julkaistiin Suomessa vuonna 2015. Strategia on kansallinen näkemys siitä, miten pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallinta ja kunnostus hoidetaan kustannustehokkaasti ja kestävästi huomioiden parhaalla mahdollisella tavalla ympäristö- ja terveysvaikutukset. Strategiaan ja sen tavoitteisiin kuuluu toimenpiteiden ja ohjauskeinojen kehittämistä sekä tutkimus- ja kunnostusohjelman toimeenpano (kuva 5). (Ympäristöministeriö, 2015)



Kuva 5. Valtakunnalliseen pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallintastrategiaan kuuluvat osiot. (Ympäristöministeriö, 2015)

Riskienhallintastrategian tavoitteena on saada pilaantuneiden maa-alueiden terveys- ja ympäristöriskit hallintaan vuoteen 2040 mennessä. Tavoitteet on jaettu kuuteen kokonaisuuteen: riskikohteiden tutkiminen ja kunnostaminen, alueidenkäytön suunnittelu, tietojärjestelmät, riskinhallintamenetelmät, menettelytavat, vastuut ja velvoitteet sekä vuorovaikutus ja viestintä. (Ympäristöministeriö, 2015)

Riskikohteiden tutkimiseen ja kunnostamiseen liittyväksi tavoitteeksi on asetettu, että riskikohteet tunnistetaan, tutkitaan ja tarvittaessa kunnostetaan järjestelmällisesti. Tavoitteena on, että Suomen merkittävimmät riskikohteet on tarvittaessa kunnostettu tai niiden riskit on saatu muuten hallintaan vuoteen 2040 mennessä. Pohjavesialueilla sijaitseville, kiireellisiksi luokitetuille kohteille tavoitteeksi on asetettu vesienhoitosuunnitelman mukaisesti vuosi 2027. Strategian tavoitteiden saavuttamiseksi luotiin valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden tutkimus- ja kunnostusohjelma, jonka toteutusta valmistellaan vuoden 2016 aikana ja sen toimeenpano aloitetaan vuonna 2017. Ohjelmaan liittyy kokeiluhanke, joka toteutetaan vuosina 2016–2018. Kokeiluhankkeessa testataan kestäviä riskienhallintaratkaisuja sekä -teknologioita valtakunnallisen tutkimus- ja kunnostusohjelman kohteissa. Tarkoituksena on saada referenssejä kestävästä kunnostusmenetelmistä alalla toimiville yrityksille. (Ympäristöministeriö, 2015)

Alueenkäytön suunnittelun osalta tavoitteeksi on asetettu, että se ja pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallinta tukevat toisiaan kestävien kokonaisratkaisujen saavuttamisessa. Tarkoituksena on edistää kestävää riskienhallintaa jo suunnittelun aikaisesta vaiheesta lähtien tiiviillä tiedottamisella ja yhteistyöllä eri viranomaisten ja muiden toimijoiden välillä. Tavoitteena on, että riskit tunnistetaan ja ennakoidaan jo riittävän aikaisessa vaiheessa alueidenkäytön suunnittelun eri tasoilla. Myös jo rakennettujen alueiden kestävää käyttöä ja olemassa olevien yhdyskuntarakenteiden käyttöä pyritään tukemaan. (Ympäristöministeriö, 2015)

Riskienhallintastrategian yhtenä tavoitteena on, että riskienhallintamenetelmät ovat kustannustehokkaita, säästävät luonnonvaroja, minimoivat haitallisia ympäristövaikutuksia ja edistävät kiertotaloutta. Tavoitteena on lisäksi, että yksittäisissä kohteissa valitaan aina tarkoitukseen parhaiten soveltuvat ja kestävä kehityksen periaatteita noudattavat menetelmät. Myös maa-ainesten tehokas hyödyntäminen kunnostuskohteessa tai sen lähialueilla on nostettu strategian tavoitteeksi. Kaupallisten menetelmien kattavuus koko Suomessa sekä tutkimus- ja kehittämistoiminnan aktiivisuus ja tulevaisuutta ennakoiva näkökulma on myös nostettu esille strategiassa. (Ympäristöministeriö, 2015)

Tietojärjestelmien kehittämisen tavoitteeksi strategiassa asetettiin, että tietojärjestelmät tukevat suunnittelua ja päätöksentekoa käyttäjälähtöisesti. Suomessa on tällä hetkellä käytössä valtakunnallinen maaperä tilan tietojärjestelmä (MATTI), johon ympäristöviranomaiset ovat keränneet tietoja pilaantuneiksi epäillyistä ja todetuista maa-alueista 1990-luvulta lähtien. MATTI-järjestelmään on koottu tietoja vaihtelevalla tarkkuudella kunnissa ja ELY-keskuksissa. Kohteiden kattavuudessa ja tietojen luotettavuudessa on huomattavia eroja alueellisesti sekä toimialojen välillä. Tietojärjestelmän puutteiden vuoksi myös ohjelman käyttöoikeuksia on rajoitettu. Riskienhallintastrategian tavoitteena on, että pilaantuneisiin maa-alueisiin liittyvät tiedot ovat suunnittelijoiden ja päätöksentekijöiden aktiivisessa käytössä, mikä edellyttää tietojärjestelmien helppokäyttöisyyttä, luotettavuutta sekä kattavuutta. Tavoitteena on integroida MATTI-tietojärjestelmä kansalliseen palveluväylään siten, että järjestelmän tietojen hyödyntämismahdollisuudet ovat yleisesti tiedossa ja kaikkien käyttäjien saavutettavissa. (Ympäristöministeriö, 2015)

Riskienhallintastrategiassa on myös nostettu esille kunnostushankkeiden eri toimijoiden roolit ja vastuut sekä hankkeiden viestintä ja vuorovaikutus. Tavoitteena on, että toimijoiden työnjako sekä vastuut ja velvoitteet ovat selkeät, yhdenmukaiset ja yleisesti tiedossa. Viestinnän suhteen tavoitteena on lisätä tietoa maaperän pilaantuneisuudesta sekä parantaa toimintatapoja siten, että viestintä olisi kunnostushankkeissa avointa, läpinäkyvää ja vuorovaikutteista. Tarkoituksena on muuttaa pilaantuneisiin maa-alueisiin liittyviä asenteita ja mahdollistaa se, että pilaantuneiden maa-alueiden käyttö ja kunnostus ovat osa alueidenkäytön suunnittelua ja rakentamista. Tässä työssä tarkoituksena on tutkia kestävä riskienhallinnan toimia ja etenkin menetelmiä niiden vertailemiseksi, jotka noudattavat strategiassa esitettyjä tavoitteita kestävästä riskienhallinnasta. (Ympäristöministeriö, 2015)

3. Pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallintamenetelmien kestävyysarviointi

Pilaantuneiden maa-alueiden riskinhallintaan ovat tulleet riskinarviointien lisäksi mukaan kestävyysarvioinnit, jotka koostuvat kunnostusmenetelmien, kaikki kestävyyskolme osatekijää kattavasta, systemaattisesta vertailusta yksittäisissä kohteissa. Kestävyysarviointien tekemisellä pyritään edistämään kestävien riskienhallintakeinojen käyttöönottoa. Seuraavassa luvussa on esitetty kestävyysarvioinnin periaatteita sekä arviointiin kehitettyjä työkaluja.

3.1 Kestävyysarvioinnin periaatteet

Yksittäisessä kunnostushankkeessa kestävyysarviointi voidaan suorittaa osana hankkeen suunnittelua ja siitä vastaa usein sama taho kuin kunnostussuunnitelmasta. Arvioinnin keskeisenä osana on kunnostusmenetelmien etujen ja haittojen systemaattinen vertailu. Arvioinnissa keskitytään kestävä kehityksen periaatteiden mukaisesti kunnostushankkeen ympäristövaikutusten arvioinnin lisäksi sosiaalisten ja taloudellisten vaikutusten arviointiin. Tärkeänä osana kestävyysarviointia on itse arviointiprosessi eli vaikutusten jäsennelty tarkastelu, joka tuottaa päätöksenteon tueksi tarvittavan tiedon läpinäkyvästi, perustellusti ja ymmärrettävästi (Ympäristöministeriö, 2014).

Kestävyysarviointiin kehitettyjä työkaluja voidaan hyödyntää kunnostusmenetelmien vertailun lisäksi myös muissa hankkeen vaiheissa. Työkaluja on kehitetty muun muassa kunnostushankkeista syntyvien vaikutusten ennakointiin ja arviointiin sekä kestävyys toteutumisen kuvaamiseen, mitoittamiseen ja monitorointiin. Työkaluja ja niistä saatavaa tietoa voidaan hyödyntää myös tiedottamisessa sidosryhmille ja muissa kunnostushanketta tukevissa toiminnoissa. (NICOLE, 2012)

Kestävyysarviointiin käytettävät työkalut voidaan jakaa kvalitatiivisiin, semi-kvantitatiivisiin ja kvantitatiivisiin työkaluihin. Erilaisia työkaluja on kehitetty PIMA-kunnostushankkeisiin lähtien yksinkertaisista kvalitatiivisista menetelmistä monimutkaisempiin monikriteeri- sekä elinkaarianalyysihin. Seuraavissa luvuissa on

perehdytty tarkemmin kestävyysarvioinneissa käytettäviin kunnostusmenetelmiä vertaileviin menetelmiin, malleihin ja työkaluihin.

3.2 Kestävyyden indikaattorit

Kunnostushankkeen kestävyden indikaattorilla kuvataan yhtä tunnusomaista vaikutusta, jota voidaan käyttää eri kunnostusvaihtoehtojen vertailuun. Indikaattoreiden tulee olla mitattavissa tai jollain muulla tavalla vertailtavissa, jotta arviointi on mahdollista. Indikaattorit voidaan asettaa tietynlaiseen hierarkiaan tai jakaa ryhmiin niiden ominaisuuksien perusteella, kuten esimerkiksi kestävän kehityksen periaatteiden mukaisesti kolmeen osatekijään; ympäristöllisiin, taloudellisiin ja sosiaalisiin indikaattoreihin. Sustainable Remediation Forum UK (SURF-UK) on määritellyt PIMA-hankkeiden kestävyden indikaattorien osatekijät taulukon 1 mukaisesti. (Bardos et al., 2009)

Taulukko 1. SURF-UK: määrittelemät Kestävyyden indikaattorien osatekijät (Bardos et al., 2009)

Ympäristö	Taloudelliset	Sosiaaliset
<ul style="list-style-type: none"> • Vaikutukset ilmaan • Vaikutukset maaperään • Vaikutukset veteen • Vaikutukset ekologiaan • Luonnonvarojen käyttö ja jätteiden tuotto • Vaikutukset maisemaan ja muu häiritsevyys 	<ul style="list-style-type: none"> • Suorat kustannukset ja hyödyt • Epäsuorat kustannukset ja hyödyt • Työllistäminen ja pääoman kasvu • Omavaraisuus • Elinikä ja projektin riskit • Projektin joustavuus 	<ul style="list-style-type: none"> • Vaikutukset ihmisen hyvinvointiin ja turvallisuuteen • Eettisyys ja oikeudenmukaisuus • Vaikutukset naapurustoihin sekä alueellisesti • Yhteisön osallistaminen ja tyytyväisyys • Yhdenmukaisuus poliittisten tavoitteiden kanssa • Epävarmuus ja luotettavuus

3.2.1 Ympäristövaikutukset

Ympäristövaikutuksia arvioitaessa tulee kestävän kehityksen mukaisesti huomioida vaikutukset veteen, ilmaan, maaperään sekä alueen ekologiaan. Energian ja luonnonvarojen käyttö, materiaalien käyttö sekä alueen jälkihoitotarpeet tulee myös huomioida. (Ympäristöministeriö, 2014)

Kestävissä kunnostusratkaisuissa yhtenä osana on energiankulutuksen minimointi, mikä voidaan toteuttaa valitsemalla kunnostusmenetelmä, joka ei käytä tai käyttää vain vähän ulkopuolista energiaa. Energiankulutusta voidaan myös tehostaa käyttämällä energiatehokkaita laitteita. (Ympäristöministeriö, 2014)

Ilmapäästöihin lukeutuvat muun muassa typpiyhdisteet (NO_x), rikkiyhdisteet, kasvihuonekaasut ja pienpartikkelit (PM₁₀) (EPA, 2012). Pilaantuneiden maa-alueiden kunnostushankkeissa päästöjä syntyy etenkin raskaiden ajoneuvojen käytöstä esimerkiksi maa-ainesten kuljetuksissa sekä joidenkin kunnostusmenetelmien, kuten termisen käsittelyn sekä huokoskaasukäsittelyn yhteydessä. Ilmapäästöjä syntyy myös välillisesti kunnostuksessa käytettävien fossiilisten polttoaineiden tuotannossa. Ilmapäästöjä voidaan vähentää käyttämällä kunnostusmenetelmiä, joiden ulkopuolisen energian tarve on vähäinen, tai käyttämällä ympäristöystävällisiä polttoaineita. Kasvihuonekaasupäästöjen pienentäminen on merkittävä tavoite useassa toiminnassa nykypäivänä. Maaperän kunnostuksessa se ei kuitenkaan välttämättä ole päätöksiä ohjaava tekijä, jos menetelmän muut edut, kuten esimerkiksi haitallisten aineiden poisto, voidaan olettaa ilmapäästöjä merkittävämmiksi. (Ympäristöministeriö, 2014)

Pilaantumisesta aiheutuvia vesistöpäästöjä ovat muun muassa pinta sekä pohjavesiin kohdistuvat päästöt. Suoria päästöjä veteen voidaan estää tai vähentää erilaisilla suojausrakenteilla ja vesien käsittelyllä kohteessa tai johtamalla vedet hallitusti esimerkiksi kunnalliselle jätevedenpuhdistamolle. Kunnostuksista aiheutuvia päästöjä voidaan vähentää välttämällä kunnostusmenetelmiä, joiden seurauksena syntyy jätevesiä. (Ympäristöministeriö, 2014)

Yksi kunnostuksessa huomioitavista ympäristövaikutuksista on jätteiden synty sekä luonnonvarojen käyttö. Kunnostuksessa tulisi minimoida jätteiden tuotto sekä luonnonvarojen käyttö ja pyrkiä materiaalien tehokkaaseen hyödyntämiseen. Jätteitä syntyy kunnostushankkeissa usein muun muassa maa-ainesten kaivussa ja käsittelyssä. Kaivun rajoittamisella välttämättömään ja hyödyntämiskelpoisia maa-aineksia kierrättämällä voidaan vähentää jätteiden syntyä. *In situ* - menetelmiä käytettäessä voidaan yleensä estää jätteen synty ja vähentää luonnonvarojen käyttöä. (Ympäristöministeriö, 2014)

Ympäristövaikutusten arviointiin voidaan käyttää muun muassa elinkaarianalyysiin perustuvia menetelmiä tai ekologisen jalanjäljen laskentaan perustuvia menetelmiä.

3.2.2 Sosiaaliset vaikutukset

Sosiaaliset vaikutukset ovat erilaisia ihmisten hyvinvointiin ja elinoloihin liittyviä vaikutuksia, jotka tulee huomioida kestävyyttä arvioitaessa. Sosiaaliset vaikutukset voivat olla pitkän aikavälin tai vain kunnostuksen aikaisia vaikutuksia ja voivat rajoittua kunnostuskohteeseen tai olla alueellisia. (Ympäristöministeriö, 2014)

Harclerode (2015) esittää seuraavat kymmenen sosiaalisten vaikutusten kategoriaa, jotka kuvaavat hankkeessa huomioitavia sosiaalisia tekijöitä;

1. Kunnostustyömaan työntekijöiden sekä lähialueiden asukkaiden **hyvinvointi ja turvallisuus** tulee ottaa huomioon kunnostusta suunniteltaessa.
2. **Taloudellinen elinvoima** saavutetaan hyödyntämällä paikallisia toimijoita ja resursseja sekä kehittämällä ja investoimalla koulutukseen.
3. **Sidosryhmien välinen yhteistyö** on tärkeää hyötyjen ja haittavaikutusten tunnistamiseksi sekä riskien arvioimiseksi ja sitä kautta tavoitteiden ja indikaattorien asettamiseksi vaikutusten arvioinnissa. Yhteistyö on merkittävässä roolissa myös suunniteltaessa tulevaa maankäyttöä.

4. **Alueen kokonaisvaltaiset hyödyt** saavutetaan edistämällä alueella asuvien elämänlaatua, johon liittyvät muun muassa kiinteistön arvon nousu, materiaalien uudelleen käyttö alueen tarpeisiin sekä kiinteistöjen jälleenrakentaminen.
5. **Paikalliset negatiiviset vaikutukset yhteisölle** aiheutuvat melusta, liikennemuuttamisesta, hajuhaitoista, taloudellisista haitoista sekä paikalliseen kulttuuriperintöön kajoamisesta.
6. **Sosiaalinen oikeudenmukaisuus** maankäytön suunnittelussa voidaan saavuttaa lisäämällä esimerkiksi asuntojen määrää sekä edistämällä alueen kaikkien väestöryhmien työllistymistä.
7. **Ekosysteemin ja luonnonvarojen arvon** muuttuminen paikallisella alueella liittyen kunnostustoimiin, maan käytön muutokseen, ekosysteemien säilyttämiseen ja hydrologisten toimintojen muuttumiseen tulee ottaa huomioon.
8. **Riskinarviointiin perustuva riskienhallinta ja kunnostustoimet** toteutetaan siten, että alueen asukkaiden elinolot säilyvät turvallisina ja oikeudenmukaisina.
9. **Laajemmat globaalit, sosiaaliset vaikutukset** koostuvat muun muassa pitkäaikaisista terveysvaikutuksista ja taloudellisista seurauksista, jotka johtuvat haitallisista päästöistä ja uusiutumattoman energian käytöstä.
10. **Paikallisten ja alueellisten kestävä kehityksen politiikan ja aloitteiden myötävaikutukset.** Poliittisia toimia ovat muun muassa uusiutuvan energian käytön aloitteet, ilmastonmuutokseen liittyvien lakien säätäminen, alueelliset maankäytön politiikat sekä kestävien resurssien hyödyntäminen.

Kategorioita voidaan käyttää apuna hankkeen suunnitteluvaiheessa tunnistessa kohdekohtaisia kestävyysindikaattoreita. Vaikutuksista osa ovat negatiivisia ja osa positiivisia. (Harclerode et al., 2015a)

Ihmisten terveyteen ja turvallisuuteen liittyvät vaikutukset linkittyvät ympäristövaikutuksiin, ja niitä arvioidaan usein ympäristöperäisen altistumisen kautta. Ympäristöpäästöjen vähentämistä ja pysyvien, kertyvien sekä haitallisten aineiden hävittämistä voidaan pitää myös ihmisen hyvinvoinnin suojelemisena eikä

ainoastaan ympäristön suojelemisena. Turvallisuustekijöihin luetaan onnettomuus- ja tapaturmariskit, joita esiintyy merkittävässä määrin muun muassa kaivuissa sekä maa-ainesten kuljetuksissa. Riskejä voidaan pienentää muun muassa käyttämällä *in situ* – menetelmiä sekä hyödyntämällä maa-ainekset paikallisesti ja täten pienentämällä massojen kuljetusmatkoja. (Ympäristöministeriö, 2014)

Sosiaalsiin tekijöihin kuuluvat myös viihtyvyyteen vaikuttavat tekijät, kuten melu, hajuhaitat sekä alueen käyttömahdollisuuksien heikentyminen. Nämä tekijät ovat yleensä lyhytaikaisia kunnostuksen aikaisia vaikutuksia. (Ympäristöministeriö, 2014)

Kunnostushankkeen viestintä on tärkeässä roolissa käsiteltäessä sosiaalisia vaikutuksia ja niiden syntymistä. Usein paikallinen yhteisö on kunnostussuunnitelmien suhteen viranomaisten ja asiantuntijoiden varassa. Jos viestintä ei ole avointa ja riittävää, voi luottamus viranomaisiin ja asiantuntijoihin heikentyä, mikä saattaa aiheuttaa suurempia ongelmia. Myös paikallisen yhteisön ja muiden sidosryhmien näkemysten kuuleminen on tärkeää. (Ympäristöministeriö, 2014)

3.2.3 Taloudelliset vaikutukset

Kunnostushankkeen taloudellisiin vaikutuksiin lukeutuvat hankkeen suorat ja epäsuorat kustannukset ja hyödyt sekä hankkeen työllistämispotentiaali ja pääoman kasvu. Muita vaikutuksia ovat projektista aiheutuvat taloudelliset riskit sekä projektin taloudellinen joustavuus. Kunnostusmenetelmien valintaa liittyy aina taloudellisen toteuttamiskelpoisuuden arviointi. Taloudelliset hyödyt eivät aina ole suurempia kuin syntyvät kustannukset, koska kunnostuksen minimitavoitteet määräytyvät usein ympäristö- ja terveysriskien perusteella. Kunnostushankkeen kustannuksia voidaan kuitenkin optimoida kestävyystarkastelussa ja riskinarvioinnissa siten, että ne saadaan mahdollisimman pieniksi. (Ympäristöministeriö, 2014)

Alueen omistajan näkökulmasta taloudellisia hyötyjä ovat alueen käytön kasvu sekä kiinteistön arvon nousu. Muita laajempia yhteyskunnallisia hyötyjä ovat ympäristön laadun yleinen paraneminen ja lähialueiden arvon nousu (Ympäristöministeriö,

2014). Myös esimerkiksi lähialueiden asukkaiden hyvinvoinnin paraneminen sekä alueen virkistysalueiden kehittyminen kunnostuksen jälkeen voidaan lukea taloudellisiksi hyödyiksi (Söderqvist et al, 2015). Yhteiskunnalliset vaikutukset voidaan lukea myös sosiaalisiksi vaikutuksiksi ja niiden arvioiminen rahallisesti on usein vaikeaa. Saavutettuja taloudellisia hyötyjä käsitelläänkin kunnostushankkeissa usein kvalitatiivisesti. (Ympäristöministeriö, 2014)

Kunnostushankkeen kustannuksia ovat suorat kunnostuksesta aiheutuvat kustannukset, kuten hankkeen suunnittelun, toteutuksen sekä monitoroinnin kustannukset. Muita kustannuksia voivat olla epäsuorat, esimerkiksi terveysriskeihin sekä alueen heikentyneisiin käyttömahdollisuuksiin liittyvät, kustannukset (Söderqvist et al., 2015). Pitkäaikaisissa kunnostushankkeissa rahan arvon muuttuminen (diskonttaus) saattaa olla syytä ottaa huomioon (Ympäristöministeriö, 2014).

Kunnostusta koskeva päätöksenteko perustuu usein kustannusarvioihin tarkan kustannustiedon puuttuessa. Epävarmuutta arvioihin voi aiheuttaa muun muassa se, että pilaantuneisuuden laajuutta ei tunneta, sekä muut odottamattomat ongelmat esimerkiksi kunnostusmenetelmän toimivuudessa. Epävarmuustekijät tulee huomioida kustannus-hyötyanalyysiä tehtäessä. (Ympäristöministeriö, 2014)

3.3 Kvalitatiiviset menetelmät

Kvalitatiiviset kestävyiden arviointimenetelmät ovat usein yksinkertaisia ja ne mahdollistavat kestävyiden huomioimisen kunnostuksen yhteydessä sekä päätösten dokumentoinnin. Menetelmissä verrataan kunnostusmenetelmiä laadullisten indikaattorien avulla, ja päätökset noudattavat menetelmän käyttäjän harkintaa. Menetelmissä voidaan käyttää muun muassa sanallista kuvausta tai pisteytyksiä esimerkiksi yhdestä kymmeneen. Laadullisia menetelmiä voidaan hyödyntää mm. yksinkertaisissa hankkeissa tai suurien hankkeiden alustavissa analyyseissä. (NICOLE, 2012).

Kunnostusmenetelmien kestävyysarviointiin on kehitetty taulukointimalleja. Taulukoita voidaan hyödyntää tarkistuslistoina kunnostushankkeissa ja niiden eri vaiheissa. Niiden avulla voidaan verrata kohdekohtaisesti eri kunnostusvaihtoehtoja. Taulukot esittävät kunnostuksista aiheutuvia vaikutuksia sekä niiden indikaattoreita niiden määrittämiseen. Osa taulukoista sisältää myös ohjeita vaikutusten laskennalliseen mittaamiseen sekä vaikutusten minimointiin. Saatavilla olevia taulukointimenetelmiä ja niiden kuvauksia on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Kestävyyden arviointiin käytettäviä taulukointimenetelmiä

Menetelmän nimi	Menetelmän kuvaus	Kestävyyden osatekijät			Lähde
		Ympäristö	Sosiaaliset	Taloudelliset	
GREM (Green remediation evaluation tool) <i>California Department of Toxic substances</i>	Green Remediation Evaluation Tool (GREM) on taulukointityökalu, joka esittää pilaantuneiden maa-alueiden kunnostuksen mahdolliset kuormitustekijät sekä niiden vaikutuksen. Työkalu koostuu Excel-tilusta, johon pisteytetään kunnostuskohteen tai – menetelmän kuormitustekijät niiden merkittävyyden perusteella. GREM-työkalun tarkoituksena on arvioida onko pilaantuneen maaperän kunnostuksella merkittäviä ympäristöllisiä, sosiaalisia tai taloudellisia vaikutuksia.	x	x	x	(Department of Toxic Substances Control, 2009)
Metrics toolbox <i>SURF</i>	Metrics toolbox – työkalu koostuu taulukoiduista kvalitatiivista ja kvantitatiivista indikaattoreista. Työkalua voi soveltaa pilaantuneiden maa-alueiden koko kunnostusprosessiin tai vain yhteen osa-alueeseen. Osa-alueet on jaettu seuraavasti: kunnostustarpeen tutkinta, kunnostusmenetelmän valinta, kunnostuksen suunnittelu, kunnostuksen toteutus ja ylläpito sekä kunnostuksen lopetus. Jokaiselle osa-alueelle on taulukot, jotka sisältävät jokaisessa vaiheessa huomioon otettavat indikaattorit.	x	x	x	(Butler et al., 2011)
Greener Cleanups: How to Maximize the Environmental Benefits of Site Remediation <i>Illinois EPA</i>	Greener Cleanups- menetelmä on yksinkertainen taulukko työkalu, joka on suunniteltu helpottamaan kestävien käytäntöjen valintaa suunniteltaessa pilaantuneiden maa-alueiden kunnostusta. Taulukossa esitetään yksittäisiä toimia liittyen kestäväan kunnostukseen sekä kvalitatiivinen luokittelu liittyen kunnostuksen vaikeuteen ja toteuttamiskelpoisuuteen. Jokaiselle toimelle on myös identifioitu ympäristölliset hyödyt (ilma, vesi, maa ja energia). Tässä menetelmässä ei oteta huomioon sosiaalisia tai taloudellisia vaikutuksia. Taulukkoa on tarkoitus hyödyntää koko kunnostusprosessin ajan. Toimet on jaettu kolmeen ryhmään: kunnostuskohteen arviointi, kunnostuksen suunnittelu ja kunnostuksen suorittaminen.	x	-	-	(Anonyymi, 2016)

3.4 Monikriteerianalyysi

Monikriteerianalyysiä (Multicriteria Decision Analysis, MCDA) on käytetty pohjana useissa päätöksentekoa tukevissa ohjelmissa ja työkaluissa. Monikriteerianalyysi on menetelmä, jossa tarkastellaan ja vertaillaan useampaa päätöksenteon kannalta merkittävää kriteeriä. Se on jäsenelty systeemi eri vaihtoehtojen luokittelulle sekä vertailulle, ja sen tarkoituksena on yhdistää päätöksentekoon vaikuttavat tekijät. Analyysissä määritetään kuinka suuri ja kuinka merkittävä jokin vaikutus on. Vaikutukset voidaan pisteyttää suuruuden perusteella, jonka jälkeen voidaan määrittää kokonaisvaikutus painottamalla vaikutuksia niiden merkittävyyden mukaan. Monikriteerianalyysi soveltuu hyvin ongelmille, joille esiintyy useampia ratkaisuvaihtoehtoja. (NICOLE, 2012)

Monikriteerianalyysissä ratkaisu voidaan määrittää eri metodeilla, kuten MAUT- tai MAVT-menetelmällä (Multi-attribute Utility/Value Theory), AHP-menetelmällä (Analytical Hierarchy Process) sekä outranking-menetelmillä. MAVT-menetelmä on yksi käytetyimmistä päätöksentekoa tukevista menetelmistä. Menetelmässä eri vaihtoehtojen paremmuutta arvioidaan hierarkkisessa jäsentelymatriisissa. Ongelmasta muodostetaan arvopuu, jossa ylimpänä on kokonaistavoite. Alempana puussa on osatavoitteita, joista kokonaistavoite koostuu. Osatavoitteet voidaan jakaa edelleen yksityiskohtaisempiin alimman tason kriteereihin eli attribuutteihin. Kukin vaihtoehto arvotetaan attribuuttien suhteen ja attribuutteja ja osatekijöitä painotetaan niiden merkitsevyyden suhteen. Tuloksena saadaan vaihtoehtojen hyvyttä kuvaava kokonaisarvo jokaiselle vaihtoehdolle. (Marttunen et al., 2008)

AVP-menetelmässä ongelma jäsenellään MAVT-menetelmän tavoin hierarkkisesti. Arviointi tapahtuu kuitenkin pareittain vertailemalla attribuutteja jokaisen kriteeriparin välillä (kumpi on parempi ja kuinka paljon). Saaduista vertailumatriiseista lasketaan painoarvot kriteereille ja edelleen kokonaispainoarvot jokaiselle vaihtoehdolle. (Marttunen et al., 2008)

Outranking-menetelmissä vaihtoehtojen välille yritetään luoda paremmuusrelaatioita tarkastelemalla, onko toisen vaihtoehdon yliveraisuus niiden

kriteerien suhteen, joissa se on parempi, tarpeeksi kompensoimaan vaihtoehdon huonommuuden muissa kriteereissä. Vaihtoehtojen kriteerejä pareittain tarkastelemalla saadaan keskinäisiä paremmuutta osoittavia preferenssiarvoja. Näistä voidaan päätellä kokonaisparemmuusjärjestys kaikkien vaihtoehtojen välille. (Marttunen et al., 2008)

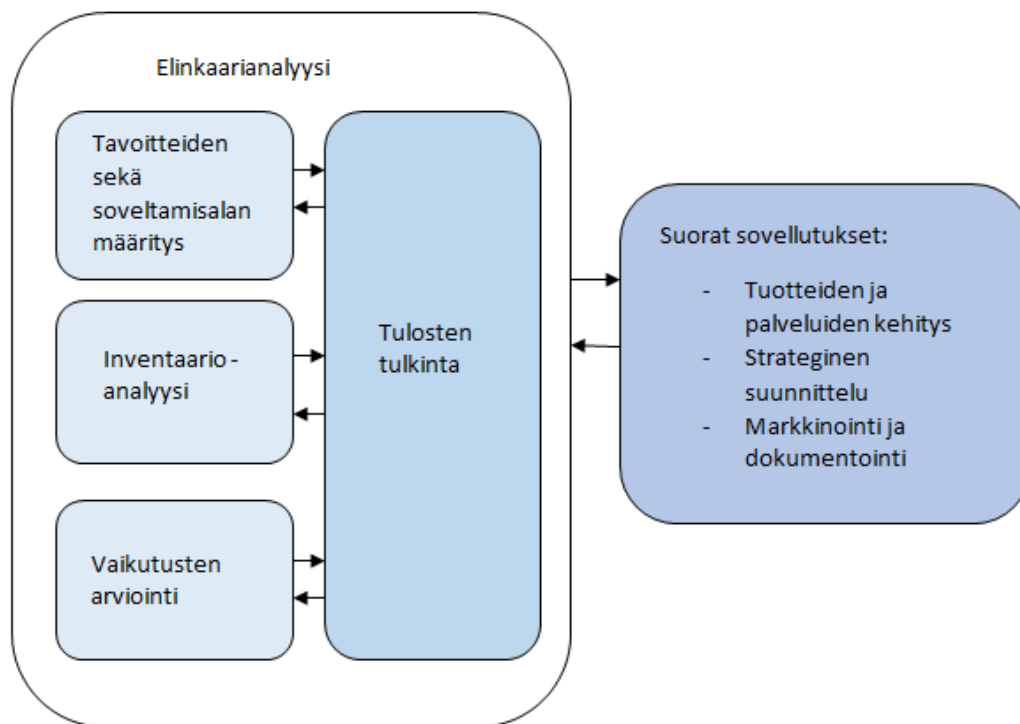
Monikriteerianalyysitekniikat voivat olla kvalitatiivisia, semi-kvantitatiivisia sekä kvantitatiivisia. Monikriteerianalyysin periaatteita on sovellettu myös esimerkiksi kustannus-hyöty-analyysissä, jota käytetään usein kunnostushankkeissa. (NICOLE, 2012)

Monikriteerianalyysiä on käyttänyt PIMA-kunnostusten kestävyysarvioinneissa muun muassa Rosén (2015), joka on kehittänyt Sustainable Choice of Remediation (SCORE) – menetelmän, jolla voidaan vertailla eri kunnostusvaihtoehtojen kestävyyttä kunnostuskohteessa (Rosén et al., 2015). Volchko et al. tutkivat maaperän ominaisuuksien vaikutusta kunnostusmenetelmien valintaan käyttäen monikriteerianalyysiä. Menetelmää käytettiin etenkin maaperän ekologisten toimintojen sekä ekosysteemiin vaikuttavien tekijöiden analysointiin eri kunnostusvaihtoehdoissa. (Volchko et al., 2014). Suomalainen ekotehokkuuden mittaamiseen tarkoitettu PIRTU-työkalu perustuu myös monikriteerianalyysiin (Sorvari et al., 2009). Monikriteerianalyysiä hyödyntäviä työkaluja ja niiden tarkemmat kuvaukset on esitetty taulukossa 4 sekä liitteen 1 taulukossa 1.

3.5 Elinkaarianalyysi

Elinkaarianalyysiä (Life Cycle Assessment, LCA) voidaan hyödyntää päätöksenteon tukena pilaantuneiden maa-alueiden kunnostushankkeissa. LCA mahdollistaa ympäristövaikutusten arvioinnin koko kunnostushankkeen elinkaaren ajalta. Elinkaarianalyysin käyttö PIMA-kunnostuksissa on yleistynyt ja sitä voidaan käyttää apuna valitsemaan sopivin kunnostusvaihtoehto, jolla minimoidaan ympäristövaikutukset, sekä optimoimaan jo valittu kunnostusmenetelmä siten, että sen ympäristövaikutukset ovat mahdollisimman vähäiset. (Morais et al., 2010)

Elinkaarianalyysin periaatteet on määritelty ISO 14040–43 standardeissa (ISO 14040, 2006), (ISO 14041, 1998), (ISO 14042, 2000), (ISO 14043, 2000). LCA koostuu neljästä vaiheesta: tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelystä, inventaarioanalyyysistä (life cycle inventory), vaikutusten arvioinnista (life cycle impact assessment) sekä tulosten tulkinnasta ja raportoinnista (kuva 6). Ensimmäisessä vaiheessa määritetään analyysin tavoite sekä ala, johon analyysiä sovelletaan. Tavoitteen asettamiseen kuuluvat muun muassa selostus hankkeesta, perustelut analyysin toteuttamiseen sekä selvitys kohderyhmästä, jolle tulokset on tarkoitus esittää. Soveltamisalan määrittelyssä selvitetään systeemin rajat ja mahdolliset rajoitteet sekä tarvittavat lähtötiedot ja käytettävät kategoriat ympäristövaikutuksille. (ISO 14040, 2006)



Kuva 6. Elinkaarianalyysin ISO 14040 standardin mukainen rakenne (ISO 14040, 2006)

Inventaarioanalyyysin keskeisiin osiin kuuluvat tarvittavan tiedon keruu ja tarvittavat laskelmat systeemin lähtötietojen (input) ja ulostulojen (output) määrittämiseksi. Tarvittavia tietoja ovat muun muassa energian käytön parametrit, lähtöaineet ja

tuotteet, tuotetut jätteet sekä päästöt ilmaan, maaperään ja veteen. Inventaarionalyysissä tuotetaan yleensä virtauskaavio, joka sisältää energia- ja materiaalivirrat. (ISO 14041, 1998)

Vaikutusten arvioinnin tarkoituksena on arvioida mahdollisten ympäristövaikutusten merkittävyyttä pohjautuen inventaarioanalyysin tuloksiin. Arvioinnissa inventaarioanalyysin perusteella määritetyt tiedot yhdistetään ympäristövaikutuksiin. (ISO 14042, 2000)

Tulosten tulkinnassa käytetään muista vaiheista saatuja tietoja. Tulosten tulee olla yhtenäisiä asetettujen tavoitteiden ja soveltamisalan kanssa sekä ottaa huomioon mahdolliset rajoitukset. Tulkinnan tarkoituksena on luoda päätöksentekoon suosituksia, jotka perustuvat muissa vaiheissa saatuihin tuloksiin. Tärkeänä osana analyysiä on myös tulosten raportointi, jossa esitetään selkeästi elinkaarianalyysin jokaisen vaiheen tulokset ottaen huomioon analyysin tavoitteet. (ISO 14043, 2000)

Elinkaarianalyysin eräs heikkous pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallinnan kestävyysarvioinnissa on se, että se sisältää harvoin sosiaalisten tai taloudellisten vaikutusten arviointia. Elinkaarianalyysin toteuttaminen vaatii lisäksi suhteellisen suuren määrän lähtötietoja, minkä johdosta sen toteuttaminen on usein aikaa vievää. Elinkaarianalyysissä tarkastellaan yleensä erityisesti luonnonvarojen ja energiankäytön ympäristövaikutuksia sekä muita globaalisti tai alueellisesti merkittäviä päästöjä, kuten kasvihuonepäästöjä. Analyysillä ei siten pyritä arvioimaan kunnostuksen paikallisia vaikutuksia ja altistumista. Elinkaarianalyysin periaatteet ovat pohjana useissa kestävyysarviointiin kehitetyissä laskennallisissa työkaluissa. (Ympäristöministeriö, 2014)

3.6 Jalanjälkianalyysit

Kunnostushankkeen kestävyttä voidaan mitata suorittamalla erilaisia jalanjälkianalyyskejä. Jalanjälkianalyysit ovat kvantitatiivisia analyyskejä, jotka kuvaavat ihmistoiminnan erilaisia vaikutuksia globaaliin kestävään kehitykseen.

Ympäristövaikutuksiin perustuvia merkittävimpiä indikaattoreita ovat hiili- ja vesijalanjälki.

Viime vuosien aikana hiilijalanjäljestä on tullut yksi merkittävimmistä ympäristönsuojelun indikaattoreista. Se kuvaa toiminnan suoria ja epäsuoria hiilidioksidipäästöjä toiminnan elinkaaren ajalta. Hiilijalanjälki voidaan määrittää sekä tuotteille että palveluille. Toiminnot voivat olla yksilöiden, väestön, hallinnon, yritysten, prosessien tai teollisuussektorien toimintaa. Hiilijalanjäljen määrittämisessä otetaan huomioon suoraan toiminnasta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt sekä epäsuorat hiilidioksidipäästöt, joita ovat esimerkiksi käyttöpaikan ulkopuoliset (off-site) päästöt. Hiilijalanjäljen yksikkönä on hiilidioksidin määrä (kg CO₂). Joskus jalanjäljessä on huomioitu muita kasvihuonekaasuja kuten esimerkiksi metaani. Tällöin yksikkönä on kg CO₂-e, joka ilmaisee tarkasteltavan kasvihuonekaasun määrän hiilidioksidiekvivalentteina. (Galli et al., 2012)

Vesijalanjälki ilmaisee kuluttajien, valmistajien tai toiminnan suoraa ja epäsuoraa vedenkäyttöä. Se on jaoteltu kolmeen eri osaan, jotka ovat sininen vesijalanjälki, vihreä vesijalanjälki sekä harmaan vesijalanjälki. Sininen vesijalanjälki viittaa pinta- ja pohjaveden kulutukseen, vihreä vesijalanjälki puolestaan käytetyn sadeveden määrään, joka on varastoitu maaperään. Harmaa vesijalanjälki kuvaa veden pilaantumista ja se määritetään puhtaan veden tilavuutena, joka tarvitaan pilaantuneen veden laimenemiseen hyväksyttävälle pitoisuustasolle. Vesijalanjälki voidaan määrittää tietylle tuotteelle tai toiminnalle, määritellylle kuluttajaryhmälle (yksityishenkilö, kaupunki, valtio) sekä tuottajille (järjestö, yritys, taloussektori). Vesijalanjälki ilmaistaan käytettyinä ja pilaantuneina vesitilavuuksina ajan suhteen. Halutusta tarkkuudesta riippuen halutusta tarkkuudesta aika voidaan ilmaista päivinä, viikkoina tai vuosina. (Hoekstra, 2009)

Muita ympäristötekijöihin vaikuttavia jalanjälkimitareita ovat muun muassa energiajalanjälki, päästöjä mittaava jalanjälki sekä typpi - ja fosforijalanjäljet. Sosiaalisia ja taloudellisia vaikutuksia huomioon ottavia jalanjälkianalyyssejä ovat muun muassa taloudellinen jalanjälki sekä ekologinen jalanjälki. (Čuček et al., 2012)

PIMA-hankkeissa jalanjälkianalyysijä on käytetty enimmäkseen ympäristövaikutusten arviointiin. Analyysillä voidaan määrittää esimerkiksi kasvihuonekaasupäästöjen ja muiden ilmanpäästöjen määriä sekä hankkeen aikaista energian ja veden kulutusta. Tällä hetkellä jalanjäljen laskemiseen tarkoitetuissa työkaluissa analyysin tuloksia ei linkitetä globaaleihin vaikutuksiin toisin kuin elinkaarianalyysissä. Esimerkiksi hiilidioksidipäästöjä ei linkitetä suoraan ilmastomuutoksen vaikutuksiin. (Harclerode et al., 2015b). Jalanjälkianalyysit keskittyvät usein alueellisesti laajoihin ympäristövaikutuksiin, jolloin paikallisia PIMA-hankkeissa merkittäviä vaikutuksia ei välttämättä huomioida tarpeeksi. Analyysit keskittyvät usein yhteen vaikutukseen, kuten veden kulutukseen tai hiilidioksidipäästöihin, jolloin laajempi kuva kunnostuksen vaikutuksista saattaa olla hankala saavuttaa. PIMA-kohteisiin käytettäviä jalanjäljen laskemiseen perustuvia ohjelmia on esitetty taulukossa 4 sekä liitteessä 1. Muun muassa CO₂ calculator laskee kunnostushankkeen hiilijalanjäljen.

3.7 Kustannus-hyötyanalyysi

Kustannus-hyötyanalyysin käyttö on lisääntynyt viime vuosina ympäristöhallinnon alalla. Sitä käytetään päätöksenteon tukena esimerkiksi PIMA-kunnostushankkeiden menetelmien vertailussa. Analyysissä otetaan huomioon hankkeen hyödyt sekä kustannukset, joiden perusteella määritetään nettohyöty. Kustannukset ja hyödyt muutetaan rahayksiköiksi. Analyysissä otetaan huomioon suorat ja epäsuorat hyödyt, joiden perusteella arvioidaan hankkeen taloudellista toteuttamiskelpoisuutta. Suoria hyötyjä ovat muun muassa kunnostettavan alueen arvoa nostavat tekijät. Epäsuorat hyödyt taas ovat muun muassa kunnostuksesta lähialueelle aiheutuneita hyötyjä, jotka ovat seurausta esimerkiksi terveysriskien vähenemisestä sekä alueen ekologian parantumisesta. Kustannuksia ovat hankkeesta aiheutuvat suorat ja epäsuorat kustannukset. (Lavee et al., 2012)

Boardmanin (2014) mukaan kustannus-hyötyanalyysi jaetaan yhdeksään vaiheeseen (taulukko 3).

Taulukko 3. Kustannus-hyötyanalyysin vaiheet (Boardman et al., 2014)

1	Määritetään kaikki eri vertailtavat projektivaihtoehdot
2	Rajataan kenen hyödyt ja haitat merkitsevät (esimerkiksi paikallinen tai valtakunnallinen näkökulma)
3	Tunnistetaan hankkeen vaikutuksille kategoriat, luokitellaan hyödyt ja haitat ja valitaan niille indikaattorit
4	Arvioidaan vaikutukset kvantitatiivisesti koko hankkeen elinkaaren ajalta
5	Muutetaan lasketut vaikutukset rahayksiköksi
6	Diskontataan tukevat hyödyt ja kustannukset nykyhetkeen
7	Lasketaan nykynettoarvo eri vaihtoehdoille
8	Suoritetaan herkkyysanalyysi
9	Valmistellaan suositus nykynettoarvon ja herkkyysanalyysin tulosten perusteella

Kustannus-hyötyanalyysiä voidaan pitää monimutkaisena prosessina, sillä sen suorittamiseen vaaditaan usein suuria määriä lähtötietoja. Lähtötiedot perustuvat rahallisiin arvioihin ja taloudellisen asiantuntemuksen omaaminen on tärkeää analyysiä tehtäessä. Kustannus-hyötyanalyysiä tehdessä voi esiintyä haasteita, kun hankkeessa on vaikutuksia, jotka ovat vaikeasti määritettävissä rahallisesti. Näitä ovat esimerkiksi sosiaalinen hyväksyttävyys ja ekosysteemiin vaikuttavat tekijät. (Onwubuya et al., 2009).

Taulukko 4. Kvantitatiiviset kestävyys arviointiin kehitetyt työkalut

Työkalun nimi	Lähestymistapa	Käyttöjärjestelmä	Kestävyyden osatekijät			Saatavuus	Lähde
			Ympäristö	Sosiaaliset	Taloudelliset		
SiteWise	Jalanjälkianalyysi	Excel - laskentataulukko	x	x	-	Vapaasti saatavilla	(Batelle et al., 2013)
CO₂ calculator	Hiilijalanjälkianalyysi	Excel - laskentataulukko	x	-	-	Ei ole vapaasti saatavilla	(Beames et al., 2014)
SEFA	Elinkaarianalyysi	Excel - laskentataulukko	x	-	-	Vapaasti saatavilla	(EPA, 2012)
SimaPro	Elinkaarianalyysi	Erillinen tietokoneohjelma	x	x	x	Kaupallinen työkalu	(Maco et al., 2013)
PIRTU	Monikriteerianalyysi & elinkaarianalyysi	Excel - laskentataulukko	x	x	x	Vapaasti saatavilla	(Sorvari ja Seppälä, 2010)
GoldSET	Monikriteerianalyysi	Internet - sivusto	x	x	x	Kaupallinen työkalu	(Beames et al, 2014)
SCORE	Monikriteerianalyysi	Excel - laskentataulukko	x	x	x	Tutkimuskäytössä	(Rosén et al., 2015)
Sustainable remediation tool (SRT)	Elinkaarianalyysi	Excel - laskentataulukko	x	x	x	Ei ole vapaasti saatavilla	(Macoet al., 2013)
REC	Monikriteerianalyysi & elinkaarianalyysi	Excel - laskentataulukko	x	x	x	Ei ole vapaasti saatavilla	(Cappuyns, 2013)
DESYRE	Monikriteerianalyysi	GIS - käyttöjärjestelmä	x	x	x	Tutkimuskäytössä	(Carlton et al, 2007)
DARTS	Monikriteerianalyysi	Erillinen tietokoneohjelma	x	x	x	Tutkimuskäytössä	(Onwubuya et al., 2009)

3.8 Vertailuja arviointityökalujen käytöstä

Eri tutkimushankkeissa on viime vuosina kehitetty useita pilaantuneiden maa-alueiden kunnostusten kestävyysarviointiin tarkoitettuja työkaluja. On myös julkaistu tutkimuksia eri työkaluista ja niiden käytöstä. Julkaisuissa vertaillaan usein eri työkalujen toimivuutta tietyssä kunnostuskohteessa.

Smith (2013) käyttivät työssään kolmea päätöksentekoa tukevaa arviointityökalua vertaillessaan eri kunnostusmenetelmiä polttoaineen jakeluaseman kunnostushankkeessa. Arviointimenetelmät olivat kvalitatiivinen pisteytysmalli, semi-kvantitatiivinen monikriteerianalyysi sekä kvantitatiivinen kustannushyötyanalyysi. Tarkoituksena oli testata käytettävyydeltään kolmea erilaista työkalua. Kaikki työkalut noudattivat SURF-UK indikaattoreita (ks. Taulukko 1). Tuloksista huomattiin, että yksinkertaisille kunnostushankkeille kvalitatiivinen, ensimmäisen tason menetelmä oli sopiva työkalu kunnostusmenetelmien vertailuun. Yksityiskohtaisempaan monikriteerianalyysiin sekä kustannushyötyanalyysiin perustuvien menetelmän käyttö soveltui suuremmille, hieman haastavimmille hankkeille. Monimutkaisemmilla menetelmillä parhaiten soveltuvien kunnostusmenetelmien välillä voitiin tunnistaa merkittäviä eroja, joita ei yksinkertaisimmalla pisteytysmenetelmällä tunnistettu. (Smith ja Kerrison, 2013)

Beames (2014) tutki eri indikaattoreita sisältäviä työkaluja ja vertaili eri indikaattoreiden ja työkalujen rakenteiden vaikutusta kestävyysarvioinnissa. Arviointityökalut, joita tutkimuksessa käytettiin, olivat CO₂ calculator -laskentaohjelma, Sustainable Remediation Tool -ohjelma, Risk Reduction, Environmental Merit and Cost -ohjelma sekä GoldSET-ohjelma. Työkaluja testattiin petrokemikaalien varastointi- ja jakeluasemaan kunnostusmenetelmien arvioinnissa. (Beames et al., 2014)

Eri työkaluilla saadut tulokset olivat vaihtelevia, mikä selittyy eri työkalujen erilaisilla indikaattoreilla sekä erilaisilla indikaattoreiden painotusmetodeilla. Laajentamalla ympäristötekijöistä sosiaaliin ja taloudellisiin tekijöihin huomattiin merkittävä vaikutus arvioinnin tuloksissa. Tuloksista pääteltiin, että arvioinnissa käytettävien

indikaattoreiden tulisi pohjautua helposti saatavilla olevaan informaatioon, ja että niiden tulisi sisältää kohdekohtaisesti merkittävät on – site ja off – site vaikutukset. Beamesin mukaan kestävyysarvioinnin työkalut voisi yhdistää maankäytön suunnitellussa käytettäviin arviointityökaluihin, jolloin sekä kunnostuksen aikaiset että sen jälkeiset vaikutukset huomioitaisiin tehokkaammin. (Beames et al., 2014)

Cappuyns (2013) tutki kestävyysarvioinnin työkalujen käyttöä ympäristövaikutusten arvioinnissa kolmessa eri kunnostuskohteessa. Tutkimuksessa olivat mukana Best Available Technology Not Entailing Excessive Cost - pisteytysanalyysi sekä jalanjälkianalyysiin perustuvat Sustainable Remediation Tool-, SiteWise - sekä CO₂ calculator - ohjelmat ja elinkaarianalyysiin perustuva Risk Reduction, Environmental Merit and Cost -ohjelma. Kunnostusmenetelmien vertailussa tarkasteltiin kaikissa kolmessa kohteessa maan säilyttämistä ennallaan, massanvaihtoa sekä kohteeseen arvioitua sopivaa *in situ* – menetelmää (kohde 1: huokosilmakäsittely alipaineella, kohde 2: höyryn injektointi ja kohde 3: terminen *in situ* - kunnostus). Ensimmäisessä kohteessa pilaantuneisuuden aiheuttajana oli diesel, toisessa kohteessa BTEX-kemikaalit sekä mineraaliöljy ja kolmannessa kohteessa Exxsol-liuotin, joka on sekoitus dearomatisoituja hiilivetyjä. (Cappuyns, 2013)

Tulosten perusteella todettiin, että työkalut käyttävät ympäristövaikutusten mittaamiseen hyvin erilaisia arvoja ja indikaattoreita. Yksinkertainen BATNEEC-työkalu soveltui alustavaan analysointiin, jota seuraa yksityiskohtaisempi analyysi. Muista menetelmistä lupaavimmilta vaikuttivat REC- sekä CO₂ calculator- työkalut. SiteWise- ja SRT-ohjelmat olivat yhdysvaltalaisen suunnittelemaa, jolloin yksiköiden lisäksi myös kunnostusmenetelmien tiedot työkaluissa erosivat eurooppalaisista mikä hankaloitti niiden käyttöä. Jalanjälkianalyysien tulosten tulkinta saattoi olla haastavaa, mutta analyysi soveltui kunnostusvaihtoehtojen keskinäiseen vertailuun. Tärkeintä oli, että työkalujen käyttäjä käyttää indikaattoreita, jotka tuottavat merkittävimmät ympäristövaikutukset, jolloin on mahdollista suorittaa olennaisia toimenpiteitä vaikutusten vähentämiseksi. (Cappuyns, 2013)

Edellä kuvattujen tutkimusten perusteella voidaan todeta, että kestävyysarvioinnin työkalujen tehokkuuden ja toimivuuden vertailu on haastavaa. Työkalut

antavat harvoin suoria vastauksia käytettävistä kunnostusmenetelmistä, mutta soveltuvat päätöksenteon tueksi. Yksinkertaisemmat kvalitatiiviset menetelmät soveltuvat pienempiin kohteisiin sekä alustavaan arviointiin. Kvantitatiiviset menetelmät soveltuvat yksityiskohtaisempaan analyysiin, joskin tarvittava datan määrä saattaa olla suuri ja analyysin tekemiseen saattaa kulua aikaa. Kohteelle sopivien indikaattorien valinta ja niiden oikeanlainen painottaminen on tärkeää.

4. Tutkimusaineisto ja menetelmät

Työn kokeellisen osan suorittamiseen valittiin kaksi kestävyiden arviointityökalua, joita testattiin neljässä eri kunnostuskohteessa. Kunnostuskohteisiin kuuluivat yksi JASKA-hankkeessa kunnostettu todellinen huoltoasemakohde sekä PIRRE – hankkeessa kehitetyt kolme kuvitteellista, todellisten kunnostuskohteiden tietojen pohjalta laadittua PIMA-kohdetta (ampumarata, saha ja kauppapuutarha). Tarkoituksena oli arvioida työkalujen soveltuvuutta ja rajoitteita ajatellen Suomen olosuhteita.

4.1 Arviointimenetelmät

4.1.1 Kestävyyden arviointityökalujen valinta

Tutkittaviksi kestävyidenarviointimenetelmiksi valittiin kirjallisuusosan tietojen perusteella kaksi työkalua: GoldSET ja PIRTU. Molemmat laskentatyökalut huomioivat kaikki kestävyiden osatekijät käyttäen kuitenkin erilaisia indikaattoreita ja laskentaperiaatteita. Ohjelmat on kehitetty PIMA-hankkeille, joten ne soveltuivat hyvin työn tarkoitukseen. Molemmissa ohjelmissa käytetään SI – yksiköitä, mikä helpottaa työkalujen käyttöä. PIRTU on Suomessa kehitetty Excel-pohjainen työkalu, joten se soveltuu käytettäväksi suomalaisissa PIMA-kohteissa. Myös GoldSET – ohjelmaa on käytetty Suomessa toteutetuissa kunnostushankkeissa.

Suurin osa kirjallisuusosassa esille nousseista menetelmistä ja työkaluista oli kehitetty tutkimuskäyttöön, eivätkä ne olleet vapaasti saatavilla. Näistä menetelmistä ei tiedetä, ovatko ne olleet käytössä esimerkiksi suunnittelijoiden ja muiden asiantuntijoiden keskuudessa vai ainoastaan tutkimuslaitoksissa. Tarkoituksena oli testata kestävyiden arviointityökaluja, jotka voisivat sopia PIMA-asiantuntijoiden laajempaan käyttöön Suomessa, jolloin työkalujen on oltava yleisesti saatavilla. Molemmat testattavista ohjelmista olivat saatavilla, joskin GoldSET-ohjelma on kaupallinen työkalu.

4.1.2 GoldSET – työkalu

GoldSET - ohjelma on Golder Associatesin kehittämä kaupallinen arviointityökalu, jota voidaan käyttää pilaantuneiden maa-alueiden kunnostusmenetelmien vertailuun ja valintaan. GoldSET sisältää useita moduuleja erilaisille hankkeille, kuten jätevedenpuhdistukseen, kaivostoimintaan sekä PIMA-kunnostukseen. Ohjelma on tarkoitettu hankkeiden suunnittelun, päätöksenteon ja raportoinnin tueksi. PIMA-moduuli koostuu viidestä eri vaiheesta: projektin kuvauksesta, kunnostusvaihtoehtojen kehittämisestä, indikaattorien valinnasta, kunnostusmenetelmien arvioinnista sekä tulosten tarkastelusta (kuva 7). Työkalu sisältää neljä tarkasteltavaa kestävyiden osa-aluetta; sosiaaliset ja taloudelliset vaikutukset, tekniset tekijät ja ympäristövaikutukset.



Kuva 7. GoldSET-ohjelman rakenne (Golder Associates, 2016)

Projektin kuvauksessa tarkoituksena on kuvata kunnostuksen tavoitteita sekä luoda kuvaus kohteen tilasta ja rajoitteista. Tämän jälkeen määritellään vertailtavat kunnostusmenetelmät sekä niiden kunnostusten kestot. Tässä vaiheessa on myös mahdollista suorittaa menetelmien alustava karsinta, jos on tiedossa, että jotain menetelmistä ei kannata tarkastella tarkemmin

GoldSET-ohjelman indikaattorit kuvaavat kunnostuksen ympäristö-, sosiaalisia ja taloudellisia vaikutuksia sekä teknisiä tekijöitä. Indikaattorit voivat olla laskennallisia tai laadullisia. Indikaattorien valinnassa valitaan kohteeseen soveltuvat indikaattorit sekä painotetaan niitä niiden merkittävyyden perusteella. Ohjelmassa on valmis moduuli pilaantuneiden maa-alueiden kunnostukseen, jossa on esitetty kunnostuksiin soveltuvia indikaattoreita. Tämän lisäksi indikaattoreita voi itse lisätä muista moduuleista sekä luoda kokonaan uusia. Valittuja indikaattoreita voidaan

painottaa niiden merkittävyyden mukaan. Painokertoimet voi itse luoda joko valinta tai jako - metodeilla. Valinnalla tarkoitetaan sitä, että käyttäjä valitsee kertoimen valikosta, jonne on annettu kertoimet esimerkiksi yhdestä kolmeen indikaattorin merkittävyyden mukaan. Jakometodissa käyttäjä jakaa valitun määrän pisteitä yhden osa-alueen indikaattoreille siten, että merkittävimmät saavat enemmän pisteitä. Jokaisella osa-alueella jaettujen pisteiden yhteismäärä on sama. Työssä indikaattorien valinta ja painotus suoritettiin yhdessä kohteen tuntevien asiantuntijoiden kanssa. Painotus tehtiin asteikolla 1-3. Kunnostusmenetelmän valinnan kannalta merkittävin indikaattori saa painotuksessa korkeimman painokertoimen.

Kunnostusmenetelmien arvioinnissa valitut indikaattorit arvioidaan joko laadullisesti tai laskennallisesti. Kvantitatiivisille indikaattoreille, kuten jätteen määrälle ja kokonaiskustannuksille, syötetään arvioidut määrät. Ohjelma sisältää hiilijalanjälkilaskurin, jolla voidaan määrittää kunnostusmenetelmien energian kulutukset sekä kasvihuonekaasupäästöt. Laskuriin syötetään arviot kunnostusmenetelmissä käytettävistä laitteistoista ja niiden käyttöasteista. Esimerkiksi kuljetusten osalta laskuriin syötetään käytettyjen kuorma-autojen määrä sekä ajetut kilometrit. Kvalitatiivisille indikaattoreille pisteytys tapahtuu valitsemalla jokaiselle kunnostusvaihtoehdolle pisteet (0, 33, 66, 100). Jokaiselle indikaattorille on esitetty valmiiksi pisteytyksen kriteerit sekä käytettyjen indikaattorien kuvaukset (ks. liite 2, taulukot 1, 2, 3 ja 4). Pisteytys tulee tehdä siten, että se mahdollistaisi mahdollisimman monen hankkeen sidosryhmiin kuuluvan näkökulmien huomioimisen.

GoldSET – ohjelmassa tulokset esitetään jokaiselle osa-alueelle prosentteina, joissa 100 % tarkoittaa kaikkein positiivisinta vaihtoehtoa. Prosentit on laskettu painotettuna keskiarvona jokaisen osa-alueen indikaattorin tuloksista. Kvantitatiivisten indikaattorien tulokset skaalataan asteikolle 0:sta 100:aan siten, että paras kunnostusvaihtoehto saa arvon 100 ja heikoin 0. Kvalitatiiviset indikaattorit pisteytetään valmiiksi samalla asteikolla (0-100). Tämän lisäksi

ohjelmassa on myös mahdollista tarkastella eri indikaattorien ja niiden teemojen tuloksia tarkemmin.

4.1.3 PIRTU- työkalu

PIRTU – ekotehokkuustyökalu kehitettiin Suomen ympäristökeskuksen koordinoimassa ”Pilaantuneen maaperän ja pohjaveden riskinhallintaratkaisujen ekotehokkuus” (PIRRE) hankkeessa vuosina 2003 – 2009 (Suomen ympäristökeskus, 2013). PIRTU-työkalu on tarkoitettu pilaantuneiden maa-alueiden riskinhallinnan suunnittelun ja päätöksenteon apuvälineeksi. Työkalun avulla voidaan verrata kohdekohtaisesti eri kunnostusmenetelmien kestävyyttä. PIRTU on Microsoft Excel-pohjainen laskentatyökalu, joka koostuu neljästä osiosta; riskit, ympäristövaikutukset, kustannukset sekä muut tekijät. Se perustuu hollantilaiseen REC- laskentaohjelmaan (Risk Reduction, Environmental Merit and Costs), jota on muokattu suomalaisiin olosuhteisiin soveltuvaksi.

Riskit - osiossa määritetään kunnostuksen terveystriskien, ekologiset riskien sekä pohjavesiriskien vähenemät eri kunnostusvaihtoehdoissa. Riskit määritetään vertailemalla lähtötilannetta ja kunnostuksen jälkeistä lopputilannetta eri kunnostusmenetelmille.

Ympäristövaikutuksissa vertailtaville kunnostusmenetelmille määritetään maa-ainesten ja pohjaveden hävikki, energian kulutus, ilmanpäästöt, jätteen määrä ja maankäyttö. Energian kulutuksen ja ilmanpäästöt ohjelma laskee sinne syötettävistä tiedoista, joita ovat pilaantuneen maa-aineksen määrä, kuljetusmatka tai käsittelyteho. Energian kulutuksen ja ilmanpäästöjen tulokset ilmoitetaan asukasekvivalentteina, joissa päästöt on suhteutettu Suomen asukaskohtaisiin päästöihin.

Kustannukset – osiossa arvioidaan eri kunnostusmenetelmille hankkeeseen kuluneet kustannukset. Kustannukset on jaettu kunnostushankkeen eri vaiheiden mukaan lähtökustannuksiin, puhdistamisen kustannuksiin, seurantakustannuksiin, loppusijoituksen kustannuksiin sekä muihin kustannuksiin. Jos kustannukset

kunnostusvaihtoehtoissa asettuvat pitkälle aikavälille, on ne mahdollista muuttaa nykyarvoon diskonttaamalla. Diskonttausta ei työssä käytetty.

Muut vaikutukset – osiossa määritetään kunnostusmenetelmien sosiaalisia vaikutuksia. Vaikutuksia ovat psykososiaaliset vaikutukset, kunnostuksesta aiheutuvat ekologiset vaikutukset, vaikutukset imagoon, vaikutukset alueen arvostukseen sekä vaikutukset maaperän laatuun. Osioon on mahdollista lisätä myös muita sosiaalisia vaikutuksia. Vaikutusten arviointi tapahtuu pisteyttämällä vaikutuksia -3:sta +3:seen. Pisteytyksessä on käytetty taulukossa 5 esitettyjä kriteerejä.

Taulukko 5. PIRTU-laskentatyökalun Muut – vaikutukset osion arvioinnissa käytetyt pisteytykset ja niiden kriteerit

Vaikutuksen suuruuden arviointi	Arvo
ei vaikutusta	0
vähäinen positiivinen vaikutus	1
kohtalainen positiivinen vaikutus	2
huomattava positiivinen vaikutus	3
vähäinen negatiivinen vaikutus	-1
kohtalainen negatiivinen vaikutus	-2
huomattava negatiivinen vaikutus	-3

Työkalun yhteenveto-osiossa on esitetty katsaus arvioinnin tuloksiin. Kaikkien osioiden tulokset on yhdistetty, ja osioissa on esitetty erilaisia kuvaajia tuloksista. Tässä osiossa on myös määritetty kunnostusvaihtoehtoille jokaisen osion tulosten ja painotusten perusteella lasketut hyvyysluvut. PIRTU-ohjelmassa voidaan painottaa jokaista neljää pääosa-aluetta sekä erikseen osa-alueiden indikaattoreita. Painotus tehdään siten, että osa-alueiden painokerroin suhteutetaan kaikkien osa-alueiden painokertoimien summaan. Esimerkiksi jos kaikille neljälle osa-alueelle halutaan sama painoarvo 1 (ei painotusta), laitetaan kaikille painotus 0,25. Työssä painotukset suoritettiin kohteen asiantuntijoiden kanssa.

4.2 Esimerkkikohteet

4.2.1 Öljyhiilivedyillä pilaantunut huoltoasema

Öljyhiilivedyillä pilaantuneet huoltoasemat ovat yleisiä kohteita, joten kestävyystarkastelu ja työkalujen testaus haluttiin toteuttaa huoltoasemakohteessa. Kohde soveltui myös hyvin erilaisten menetelmien vertailuun (*in situ* ja *ex situ*-menetelmät). Tällä hetkellä sopivaa öljyhiilivedyillä pilaantunutta hanketta ei ollut käynnissä, joten päädyttiin jo kunnostetun kohteen käyttöön kestävyystarkastelussa.

Kestävyysarviointi suoritettiin GoldSET- ja PIRTU- ohjelmilla öljyhiilivedyillä pilaantuneeseen käytöstä poistetulle entiselle polttonesteiden jakeluasemalle. Kohde on kunnostettu JASKA-ohjelman puitteissa biologisen käsittelyn ja massanvaihdon yhdistelmänä vuosina 2014–2015 ja nykyisin kiinteistö on asuin- ja liikekäytössä (FCG, 2015). Kiinteistö on kooltaan noin 0,6 ha ja se sijaitsee haja-asutusalueella. Kiinteistössä on yhteensä kolme rakennusta: asuinrakennus, tanssiravintola ja autotalli. Kiinteistön eteläpuolella on peltoalue. Koillis-kaakko suunnassa kiinteistö rajoittuu vilkkaasti liikennöityyn tiehen, jonka toisella puolella on talousmetsää. Lähin naapuritalo on maatila, joka sijaitsee noin 300 metrin päässä kiinteistöstä. Lähin vesistöalue sijaitsee noin 800 metrin päässä kohteesta kaakkoon. Kohde sijaitsee 1. luokan pohjavesialueen laidalla, mutta kohde ei kuulu kunnallisen vesihuollon piiriin.

Useat eri yritykset ovat harjoittaneet alueella jakelutoimintaa vuosina 1966–2003. Nykyinen kiinteistön omistaja ei ole harjoittanut jakelutoimintaa. Kiinteistöllä on ollut maanalaiset säiliöt bensiinille, dieselille sekä polttoöljylle. Tämän lisäksi kiinteistöllä on ollut lämmityskäytössä oleva öljysäiliö, josta on myös myyty polttoainetta.

Alueen pintamaa on ohuen humuskerroksen alla 10–16 metrin syvyyteen asti hiekkaa. Sen alapuolella on ainakin 25 metriin asti soraa. Pihan pinnoite on asfalttia, soraa ja nurmea. Pilaantuneella maa-alueella pinnoite on pääosin asfalttia ja osittain nurmea. Pohjaveden pinta on alueella noin 17 metrin syvyydellä. Kiinteistöllä sijaitsee yksi rengaskaivo, johon asennettiin kunnostuksen suunnittelun yhteydessä

pohjavesiputki pohjaveden laadun tarkkailua varten. Jätevedet ohjataan saostuskaivojen kautta maastoon. Sadevedet johtuvat maastoon ilman viemäröintiä.

Maaperän pilaantuneisuus

Maaperä oli pilaantunut öljyhiilivedyillä polttoaineiden varastoinnin ja jakelun seurauksena, ja siinä oli havaittu valtioneuvoston asetuksen (214/2007) ylemmän ohjearvon ylittäviä pitoisuuksia kevyitä bensiinihiilivetyjä sekä öljyhiilivetyjen keskitisleitä. Pilaantuneen maan määrä oli noin 330 tonnia 110 m² alalla. Alueella arvioitiin olevan noin 300 kg öljyhiilivetyjä 1-2 metrin kerroksina 1-3 metrin syvyydessä maan pinnalta. Ennen kunnostusta suoritettujen laboratoriokokeiden mukaan öljyhiilivetyjen keskitisleitä (C_{>10}-C₂₁) oli enimmillään 1400 mg/kg ja bensiinijakeita (C₄-C₁₀) enimmillään 840 mg/kg. Raskaiden öljyjakeiden (C_{>21}-C₄₀) pitoisuus oli maksimissaan 190 mg/kg.

Tehdyn pilaantuneisuuden- ja puhdistustarpeen arvioinnin mukaan maaperä oli tarpeen kunnostaa pilaantumisen leviämisen riskin sekä pilaantumisesta johtuvan maankäyttörajoituksen ja maa-ainesten kaivurajoituksen poistamiseksi. Pohjavedessä ei havaittu kohonneita öljyhiilivety pitoisuuksia, joten sitä ei ollut tarvetta puhdistaa. Kunnostuksen tavoitetasoksi asetettiin asuinalueella valtioneuvoston asetuksen (214/2007) mukaiset alemmat ohjearvot sekä tiealueella ylemmät ohjearvot (taulukko 6).

Taulukko 6. Valtioneuvoston PIMA-asetuksen mukaiset kunnostuksen tavoitetasot asuinalueella ja tiealueella ampumaratakohteessa (VNa 214/2007)

Yhdiste	Asuinalue (mg/kg)	Tiealue (mg/kg)
Bensiinijakeet (C ₅ -C ₁₀)	100	500
Keskitisleet (C _{>10} -C ₂₁)	300	1000
Raskaat öljyt (C _{>21} -C ₄₀)	600	2000
Ksyleenit summapitoisuus	10	50

Tarkasteltavat kunnostusmenetelmät

Kestävyyssarvioinnissa tarkasteltiin kolmea öljyhiilivedyllä pilaantuneisiin maihin soveltuvaa ja toteuttamiskelpoista kunnostusmenetelmää. Vertailtavina menetelminä olivat tehostettu biologinen kunnostus, massanvaihto ja kaatopaikkasijoitus sekä biologisen kunnostuksen ja massanvaihdon yhdistelmä. Lisäksi PIRTU-analyysissä tarkasteltiin 0-vaihtoehtona luontaista biohajoamista. GoldSET-ohjelmassa ei tarkasteltu 0-vaihtoehtoa.

Kaikissa kunnostusmenetelmissä paitsi luontaisen biohajoamisen arvioinnissa otettiin kestäväysarvioinnissa huomioon polttoainesäiliöiden ja –putkistojen poisto ennen maaperän kunnostusta. Polttoainesäiliöt poistetaan kaivamalla maaperästä, johon kuluu noin yksi työpäivä.

Luontainen biohajoaminen

0-vaihtoehtona tarkasteltiin luontaista biohajoamista. Menetelmässä öljyhiilivetyjen annetaan hajota ajan kuluessa luontaisesti biologisten ja kemiallisten prosessien vaikutuksesta. Luontaisessa puhdistuksessa oletettiin hajoamisnopeudeksi 10 % vuodessa, jolloin kunnostuksen tavoitetasot saavutettaisiin 20 vuodessa (Lundén, 2008).

Tehostettu biologinen kunnostus

Tehostetussa biologisessa kunnostuksessa maaperään syötetään panoksittain ravinneliuosta mikrobitoiminnan edistämiseksi. Haitta-aineiden biologista hajoamista tehostetaan lisäämällä maaperään vesiliuoksena happea, ravinteita sekä kosteutta luontaisen mikrobikannan käyttöön. Kunnostusalueelle asennetaan tätä varten käsittelyputkistot säiliöiden poiston yhteydessä. Putkistoista syötetään ravinneliuosta maaperään panossyötöllä. Käytännössä yksi työntekijä käy kohteessa pumpaamassa liuoksen maaperään asennettujen putkistojen avulla. Mitatut haitta-ainepitoisuudet ja maaperän ominaisuudet määräävät ravinneliuoksen määrän ja

koostumuksen. Kunnostuksen loputtua putket poistetaan maaperästä ja alue viimeistellään asfaltoimalla.

Massanvaihto ja kaatopaikkasijoitus

Massanvaihdoissa öljyhiilivedyillä pilaantuneet maa-ainekset (yhteensä 330 t) kaivetaan entisiltä jakelu – ja säiliöalueilta. Maa-ainekset välivarastoidaan aumoiksi asfalttialueelle, josta ne kuljetetaan loppusijoitettavaksi luvanvaraiseen käsittelylaitokseen. Kaivannot täytetään kaivua edeltäneeseen tasoon pilaantumattomilla maa-aineksilla (rinnesoralla). Maa-ainekset tuodaan kohteeseen luvan omaavilta maa-ainestenottoalueilta. Alueen rakennekerrokset rakennetaan uudelleen tuoduilla maa-aineksilla. Kunnostus viimeistellään tiivistämällä maaperä sekä asfaltoimalla liikennöintialue.

Biologinen puhdistus ja massanvaihto

Kohteen kunnostus toteutetaan biologisen puhdistuksen ja massanvaihdon yhdistelmänä. Noin puolet haitta-aineista hajotetaan käyttäen edellä kuvattua biologista puhdistusta, jossa maaperään syötetään ravinneliuosta. Loput pilaantuneesta maa-aineksesta kaivetaan ja sijoitetaan maa-ainesten käsittelylaitokseen. Kaivettuun kuoppaan rakennetaan alueen rakennekerrokset uudelleen alkuperäisiä vastaavilla pilaantumattomilla maa-aineksilla, jonka jälkeen alue viimeistellään asfaltoimalla liikennöintiin käytettävät alueet.

Huoltoasemakohteen GoldSET-kestävyyssarviointi

GoldSET-analyysissä arvioitiin huoltoasemakohteelle kohteen asiantuntijoiden kanssa valittuja indikaattoreita kvantitatiivisesti ja kvalitatiivisesti.

Laskennallisessa analyysissä arvioitiin mm, jätteen määrää, työn kestoa ja kustannuksia. Kustannustietojen arvioinnissa käytettiin kohteen kunnostuksen suunnittelijoilta saatuja kustannusarvioita. Hiilijalanjälkilaskurilla määritettiin kunnostuksista aiheutuvat energiankulutukset ja kasvihuonekaasupäästöt.

Tehostetussa biologisessa kunnostuksessa laskuriin syötettiin tiedot ravinneliuosputkien asennukseen ja purkuun sekä ravinneliuoksen syöttöön käytettävistä laitteistoista. Maa-aineksen kaivulle ja kaatopaikkasijoitukselle taas syötettiin tiedot kaivussa käytettävistä kaivinkoneista ja niiden käyttöajoista sekä kuljetukseen tarvittavista kuorma-autoista ja niiden ajokilometreistä.

Laadullisessa analyysissä arvioitiin ympäristövaikutuksista muun muassa maaperän laatua, ilmapäästöjä ja jätteen määrää. Sosiaalista vaikutuksista arvioitiin kunnostuksesta aiheutuvia häiriöitä, alueen käyttöä sekä alueen asukkaiden ja työntekijöiden terveyttä ja turvallisuutta. Laadullinen analyysi suoritettiin yhdessä kohteen asiantuntijoiden kanssa.

Huoltoasemakohteen PIRTU-analyysi

PIRTU-analyysi koostuu neljän osa-alueen riskit, ympäristövaikutukset, kustannukset sekä muut tekijät arvioinnista huoltoasemakohteelle. Ympäristövaikutukset – osiossa määritettiin vertailtaville kunnostusmenetelmille kunnostuksesta aiheutuvia ympäristövaikutuksia. Osiossa määritettiin eri kunnostusmenetelmille maa-aineksen hävikki, energian kulutus, ilmapäästöt sekä jätteen määrä. Massanvaihdossa energiankulutuksessa huomioitiin massan kaivu sekä massojen kuljetukset. Biologisen puhdistuksen energiankulutuksen määrittämiseen sisällytettiin ravinneputkien kaivun ja rakenteiden purun sekä ravinneliuoksen pumppaamisesta aiheutuva energiankulutus. Riskit osiossa pyrittiin määrittämään terveysriskejä ja ekologisia riskejä. Terveysriskit määritettiin SOILIRISK – ohjelman avulla.

Kustannustietojen arvioinnissa käytettiin kohteen kunnostuksen suunnittelijoilta saatuja kustannusarvioita. Kohteen kunnostuksen 0 – vaihtoehtoon kustannukset koostuvat ainoastaan kiinteistöllä suoritetuista tutkimuksista (esiselvitykset, analysointi). Tehostetun biologisen puhdistuksen kustannuksiin kuuluvat *in situ* – kunnostuksen kustannuksien lisäksi valvontaan, analyysiin, raportointiin ja viranomaiskäsittelyihin liittyvät kustannukset. Massan kaivuun ja kaatopaikkasijoituksen kustannuksiin kuuluvat maanrakennuksen ja kuljetusten kustannukset sekä kaatopaikkamaksut ja valvontaan, analyysiin, raportointiin ja

viranomaiskäsittelyihin liittyvät kustannukset. Tehostetun biologisen puhdistuksen ja massankaivun yhdistelmän kustannusarvioon sisältyvät sekä biologisen kunnostuksen kustannukset että massan kaivuun ja kaatopaikkasijoituksen kustannukset.

Muihin vaikutuksiin kuuluivat kvalitatiiviset tekijät, kuten psykososiaaliset vaikutukset, vaikutukset imagoon sekä vaikutukset alueen arvostukseen. Vaikutuksia arvioitiin pisteytyksellä -3:sta 3:een kunnostuksen suunnittelijoiden kanssa. Muita vaikutuksia arvioitiin lähtötilanteessa sekä jokaiselle kunnostusvaihtoehdolle kunnostuksen aikana sekä sen loputtua.

4.2.2 Ampumaratakohde

Työn seuraavassa osiossa kunnostusvaihtoehtojen kestävyys arvioitiin GoldSET-ohjelmalla Suomen ympäristökeskuksen pilaantuneiden maa-alueiden riskinhallintaratkaisujen ekotehokkuus – hankkeessa (PIRRE) kehitetyssä ampuratakohteessa. Kohteen kunnostusvaihtoehtojen kestävyys oli aiemmin arvioitu PIRTU-ohjelmalla PIRRE-hankkeen yhteydessä (Sorvari ja Seppälä, 2010). Tarkoituksena oli verrata GoldSET-arviointia jo tehtyyn PIRTU-arviointiin.

Arviointi tehtiin metalleilla pilaantuneelle ampumaradalle, joka sijaitsee taajama-alueen ulkopuolella Uudellamaalla noin 100 km päässä Helsingistä. Ampumaradan kokonaispinta-ala on noin 16 ha ja se sisältää sekä haulikko- että kivääriradat, jotka ovat olleet käytössä 1960 – luvulta lähtien. Tarkastelussa keskityttiin haulikkoradan kunnostukseen.

Ampumarata sijaitsee vedenhankinnan kannalta tärkeällä pohjavesialueella. Vedenottamo sijaitsee 500 metrin päässä ampurata-alueelta ja sitä käyttää noin 1000 henkilöä. Lähistöllä ei ole varavedenottamoa. Ampumarata sijaitsee pitkittäisharjulla ja osa siitä on harjun ydinosassa, jossa maa-aines on vettä hyvin läpäisevää karkeaa hiekkaa ja soraa. Haulikkoradan alueella pintamaa on enimmäkseen turvetta, jonka alla on tiivistä hienoa hiekkaa.

Aiempien maaperä- ja pohjavesitutkimusten perusteella alueen todettiin olevan pilaantunut lyijyllä ja antimonilla. Mitatut keskimääräiset pitoisuudet on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Ampumaradalla mitatut keskimääräiset pitoisuudet lyijylle, antimonille ja arseenille (Antikainen ja Sorvari, 2005a) ja näiden ohjearvot (VNa 214/2007)

HAITTA-AINEET	PB	SB	AS
HAULIKKORATA	2 100	150	25
KIVÄÄRIRATA	6 900	70	-
VNA KYNNYSPITOISUUS	60	2	5
VNA ALEMPI OHJEARVO	200	10	50
VNA YLEMPI OHJEARVO	520	50	100

Lyijy – ja antimonipitoisuudet ylittivät PIMA-asetuksen (VNa 214/2007) ylemmän ohjearvon. Arseenipitoisuudet ylittivät asetuksen kynnysarvon. Kriittisimmäksi haitta-aineeksi todettiin lyijy, jonka pitoisuudet ylittivät asetuksen alemman ohjearvon 13 ha:n alueella. Yhteensä pilaantunutta maata todettiin olevan 45 000 m³ltr. Pilaantuneisuuden maksimisyvyys oli 0,6 m. Myös pohjaveden todettiin olevan pilaantunut lyijyllä, jonka pitoisuus oli näytepisteissä keskimäärin 15 µg/l. Muita haitta-aineita ei todettu esiintyvän pohjavedessä.

Tarkasteltavat kunnostusvaihtoehdot

Alueen kunnostuksen tarkoituksena on alueen asukkaiden talousveden saannin varmistaminen. Kunnostuksen jälkeen alue on suunniteltu käytettäväksi virkistysalueena ja sille ei ole rakentamissuunnitelmia. Tarkasteltaviksi kunnostusvaihtoehdoiksi määräytyivät kaivu ja käsittely muualla, kaivu ja maa-aineksen pesu sekä pohjaveden puhdistus reaktiivisen seinämän avulla. Nämä ovat osa PIRRE-projektissa tarkastelluista kunnostusmenetelmistä. (Sorvari ja Seppälä, 2010)

Kaivu ja loppusijoitus

Kaivussa PIMA-asetuksen alemman ohjearvon ylittävät maa-ainekset kaivetaan ja kuljetetaan käsiteltäviksi lähimpään käsittelylaitokseen. Kaivualue on yhteensä 13 ha ja kaivettavan maa-aineksen määrä yhteensä 45 000 m³ktr. Voimakkaasti pilaantuneita maamassoja (Pb > 300 mg/kg) on yhteensä 12 000 m³ktr ja lievästi pilaantuneita (Pb 60-300 mg/kg) massoja 33 000 m³ktr. Haulit erotetaan pintamaasta mineraaliteknisin keinoin. Haulien hyötykäyttöä ja niiden kuljetusta ei erotuksen jälkeen huomioitu laskuissa. Kaivetut maa-ainekset kuljetetaan 50 km päässä sijaitsevalle käsittelylaitokselle. Poistetun maa-aineksen tilalle tuodaan yhteensä 6500 m³ multaa/turvetta ja 38 500 m³ soraa/moreenia. Korvaavat maamassat tuodaan alueelle noin 50 km päästä.

Pohjavettä ei ensi vaiheessa käsitellä, vaan sen haitta-ainepitoisuuksia tullaan seuraamaan 5 vuoden ajan massanvaihdon jälkeen. Pohjavedenottoa suljetaan ja sen tilalle rakennetaan uusi vedenottoa noin 15 km päähän käyttäjästä.

Kaivu ja maa-aineksen pesu

PIMA-asetuksen alemman ohjearvon ylittävät maa-ainekset kaivetaan (45 000 m³ktr) ja käsitellään pesemällä kohteeseen kuljetettavalla pesulaitteistolla (50 km). Haulit erotetaan maa-aineksesta ennen pesua. Maa-ainekset, joiden haitta-ainepitoisuudet alittavat pesun jälkeen alemman ohjearvon, sijoitetaan takaisin kohteeseen (noin 90 % kaivetuista maa-aineksista). Pesusta syntyvä rejekti toimitetaan eteenpäin käsiteltäväksi. Pesuvesi kierrätetään pääosin pesulaitteistossa ja jäljelle jäävä jätevesi ohjataan jätevedenpuhdistamolle. Talousveden saanti taataan samalla tavalla kuin edellisessä vaihtoehdossa eli rakentamalla uusi pohjavedenotto.

Pohjaveden kunnostus reaktiivisen seinämän avulla

Viimeisenä kunnostusvaihtoehtona on pintamaan poisto ja pohjaveden kunnostus reaktiivisen seinämän avulla siten, että vesi täyttää talousveden laatuvaatimukset.

Seinämä on tilavuudeltaan 180 m³ (leveys 20 m, syvyys 6 m ja paksuus 1,5 m). Seinämän koko on mitoitettu siten, että sen tehokas toiminta-aika kattaa koko tarkasteluajan (30 vuotta), jolloin sitä ei poisteta missään vaiheessa kunnostusta. Pohjaveden liijypitoisuutta seurataan koko tarkastelujakson ajan. Pohjaveden seurantaan varten asennetaan alueelle 6 havaintoputkea.

Maaperä kunnostetaan poistamalla ylin, haulit sisältävä, noin 10 cm paksuinen turvemaakerros. Alueen käyttöä rajoitetaan kieltämällä marjojen ja sienien poimiminen varoitustauluin. Aluetta ei kuitenkaan aidata. Haulit erotetaan pintamaasta mineraaliteknisin menetelmin tärypöydän avulla. Haulien kierrätyksestä aiheutuvia kuljetuksia ei huomioitu kestävyysarvioinnin laskuissa.

GoldSET-kestävyysarviointi ampumaratakohteelle

GoldSET-kestävyysarvioinnissa vertailtiin edellä kuvattuja kunnostusmenetelmiä ja niiden kestävyyttä. Laskennalliset arviot pohjautuvat PIRRE-hankkeessa toteutettuihin PIRTU-laskuihin. Laskennallisia indikaattoreita olivat jätteen määrä, vaarallisen jätteen määrä, käytetyn veden määrä, työn kesto ja kustannukset.

Hiilijalanjälkilaskurilla määritettiin kunnostusvaihtoehtojen energiankulutukset ja kasvihuonekaasupäästöt. Kaivu ja loppusijoitus - kunnostusmenetelmässä laskurissa huomioitiin kaivusta ja kuljetuksesta aiheutuvat polttoainekulutukset ja niistä aiheutuvat päästöt. Pesussa taas huomioitiin pesulaitteiston ja sen kuljetuksesta aiheutuvat energian kulutukset. Reaktiivisessa seinämässä energiankulutus muodostuu seinämän materiaalien kuljetuksista ja seinämän rakentamisesta.

Ampumaratakohteen GoldSET-ohjelman laadulliset indikaattorit valittiin ja arvioitiin PIRISTE-hankkeen asiantuntijoiden kanssa.

4.2.3 Saha-alue

Kolmantena esimerkkikohteena oli PIRRE-hankkeessa kuvattu dioksiineilla ja furaaneilla pilaantunut vanha saha-alue (Antikainen ja Sorvari, 2004), jonka kunnostusvaihtoehtojen kestävyyttä arvioitiin GoldSET – työkalulla. Laskennassa

hyödynnettiin PIRRE-hankkeen yhteydessä PIRTU-työkalulla tehtyjä laskuja. Kohde sijaitsee noin 300 km päässä Helsingistä. Alueella oli toiminut saha 1910 – luvulta 1990 – luvun vaihteeseen asti. Tällä hetkellä kunta omistaa alueen ja se on kaavoitettu asutus – ja virkistyskäyttöön (pien- ja rivitaloasutusta). Kohde ei sijaitse pohjavesialueella. Alueen kokonaispinta-ala on 10 ha.

Sahalla on käytetty puutavaran sinistymisenestoon KY-5 – nimistä kloorifenolipohjaista puunsuoja-ainetta, jota on päässyt käytön aikana maaperään puutavaran kastelun, varastoinnin ja kuljetuksen yhteydessä. Suoja-aine sisälsi epäpuhtautena dibentso-*p*-dioksiineja ja dibentsofuraaneja. Haitta-aineet olivat levinneet alueella myös pintamaan siirtelyn ja alueen täytön seurauksena.

Alueen maaperä on 0-6 metrin syvyydellä kerroksellista silttiä ja savea, jonka alla on hiekkaa. Lisäksi perusmaan päällä on 0-4 metrin paksuinen täyttökerros, joka sisältää muun muassa hiekkaa, soraa, täytemaata, puujätettä, purua ja puun kuorta. Orgaanisen aineksen pitoisuus pintakerroksessa on 5 %.

PIMA-asetuksen alempi ohjearvo ylittyi haitta-aineiden osalta yhteensä 5 ha:n alueella. Yhden hehtaarin alueella (alue A) pilaantuminen oli voimakkaampaa kuin muulla alueella (alue B). Alueen maaperä on aikaisemmin kunnostettu kloorifenolipilaantumisen vuoksi. Kohdetutkimuksissa ei todettu muita haitta-aineita.

Tarkasteltavat kunnostusvaihtoehdot

Kunnostuksen tarkoituksena on poistaa terveysriskit, jotta alueelle voidaan jossain vaiheessa rakentaa asuntoja. Kunnostusvaihtoehdoiksi määritettiin massanvaihto, massanvaihdon ja peiton yhdistelmä sekä kaivu ja poltto.

Massavaihto

Ensimmäisenä kunnostusvaihtoehtona on pilaantuneen maa-aineksen kaivu ja loppusijoitus. Alueelta A kaivetaan yhteensä 10 000 m³ pilaantuneita maa-aineita, jotka sijoitetaan käsiteltäväksi vaarallisena jätteenä käsittelylaitokseen, jolla

on lupa ottaa vastaan kyseisiä maa-aineksia. Kuljetusmatka arvioitiin olevan noin 300 km. Alueelta B kaivetaan yhteensä 40 000 m³ktr maata, joka kuljetetaan tavanomaiselle kaatopaikalle 50 km päähän kohteesta. Kohteeseen tuodaan pilaantuneen maan tilalle yhteensä 50 000 m³ktr puhdasta maata 10 km päästä. Kohteeseen tuotu puhdas maa levitetään kaivetulle alueella, ja alue viimeistellään tasauksella ja maisemoinnilla. Lisäksi kunnostustöihin sisältyy kunnostuksen valvonta sekä näytteenotto ja – analysointi.

Massanvaihto ja peitto

Toisena kunnostusvaihtoehtona on massanvaihto ja maa-alueen peittäminen siten, että osa alueesta kaivetaan ja osa peitetään puhtaalla maalla. Alueelta A, jossa on suuremmat haitta-ainepitoisuudet, kaivetaan yhteensä 10 000 m³ktr maa-ainesta, joka kuljetetaan sijoitettavaksi vaarallisena jätteenä. Alue B peitetään yhdellä metrillä puhdasta maata. Puhdasta maata tarvitaan tällöin yhteensä 50 000 m³ktr, ja se tuodaan 10 km päästä kohteesta. Puhtaasta maasta käytetään 10 000 m³ktr kaivannon täyttöön, loput menevät pilaantuneen maan peittämiseen. Lopuksi työ viimeistellään tasauksella ja maisemoinnilla.

Massanvaihto ja poltto

Massanvaihdossa ja poltossa alueilta A ja B kaivetaan pilaantuneet maa-ainekset ja viedään käsiteltäväksi polttolaitokseen. Kaivettavan ja poltettavan maa-aineksen määrä on yhteensä 50 000 m³ktr. Polttolaitos sijaitsee 300 km päässä kohteesta. Puhdasta maata tuodaan edellisten vaihtoehtojen tapaan yhteensä 50 000 m³ktr 10 km päästä kohteesta. Puhdas maa levitetään kaivantoon, jonka jälkeen alue viimeistellään.

Saha-alueen GoldSET-kestävyysarviointi

Saha-alueen GoldSET-kestävyysarviointi suoritettiin PIRRE-hankkeen kuvausten pohjalta (Antikainen ja Sorvari, 2004). Indikaattorien valinta ja painotus suoritettiin

PIRISTE-hankkeen asiantuntijoiden kanssa. Myös laadulliset indikaattorit arvioitiin asiantuntijoiden kanssa.

Laskennalliset indikaattorit koostuivat jätteen määrästä, vaarallisen jätteen määrästä, maaperän määrä, josta haitta-aineet on poistettu, työn kestosta ja kustannuksista. Indikaattorien arviot suoritettiin hyödyntämällä PIRRE-hankkeen PIRTU-laskelmia (Antikainen ja Sorvari, 2004). Hiilijalanjätkilaskurilla määritettiin kunnostusvaihtoehtojen energian kulutukset ja kasvihuonekaasupäästöt. Massanvaihhdossa laskurilla laskettiin kaivusta ja maa-ainesten kuljetuksista aiheutuvat energiankulutukset ja kasvihuonekaasupäästöt. Peitto-vaihtoehdossa laskurissa huomioitiin maa-ainesten kuljetus ja niiden sijoitus alueelle. Poltossa huomioitiin kaivun ja kuljetusten lisäksi polttolaitteiston energiankulutus ja kasvihuonekaasupäästöt.

4.2.4 Kauppapuutarha

Kestävyysarviointi tehtiin torjunta-aineilla pilaantuneelle entiselle kauppapuutarhalle, joka on kahden edellisen esimerkkikohteen tavoin kuvattu PIRRE-hankkeessa (Antikainen ja Sorvari, 2005b). Kunnostettava kohde sijaitsee pientaloalueella Helsingissä. Tontin kokonaispinta-ala on 4270 m². Tontti rajautuu yhdeltä reunalta tiehen ja yhdeltä reunalta puistoalueeseen. Kahdella muulla suunnalla sijaitsee asuintaloja. Alue ei sijaitse pohjavesialueella. Kohteessa on toiminut kauppapuutarha 1920 - luvulta 1980 – luvulle asti. Kauppapuutarhassa on ollut useita kasvihuoneita, joiden perustuksia on maassa vielä jäljellä. Alueelle on suunniteltu rakennettavaksi vanhainkoti, jonka pohjapinta-ala olisi 1500 m².

Alueen maaperä on multavaa silttiä, jossa orgaanisen aineksen pitoisuus on 0-50 cm syvyydellä 20 %.

Kohdetutkimusten perusteella alueen todettiin olevan pilaantunut DDT:llä ja sen hajoamistuotteilla. Maaperässä esiintyvät haitta-aineet ja niiden pitoisuudet on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. Kauppapuutarhan maaperässä esiintyvät haitta-aineet ja niiden pitoisuudet

HAITTA-AINEET	PITOISUUDET (MG/KG)		
	matalin	korkein	keskiarvo
DDT	<0.01	0.500	0.110
DDE	0.170	0.430	0.097
DDD	0.017	0.570	0.130

PIMA-asetuksessa (VNa 214/2007) määritetty alempi ohjearvo DDT-, DDE- ja DDD-yhdisteiden summapitoisuudelle on 1 mg/kg ja kynnysarvo on 0,1 mg/kg.

Tarkasteltavat kunnostusvaihtoehdot

Koska alueen maankäyttö on muuttumassa (vanhainkoti), se on kunnostettava. Kestävyyssarvioinnissa huomioitiin vain pilaantuneen maa-alueen kunnostuksesta aiheutuvat tekijät. Sellaisia tekijöitä, jotka liittyivät vanhainkodin rakentamiseen, kuten viemärintarpeet ja muut pohjatyöt, ei huomioitu. Tarkasteltaviksi kunnostusvaihtoehdoiksi valittiin aiemman, PIRRE-hankkeessa tehdyn arvioinnin tapaan massanvaihto, massanvaihto ja peitto sekä koko alueen peitto.

Massan kaivu ja kaatopaikkasijoitus

Pilaantuneet maa-ainekset kaivetaan. Poistettavan maakerroksen paksuus on 0,5 m ja maan kokonaismäärä on 1425 m³ltr. Maa-ainekset kuljetetaan loppusijoitettavaksi 40 km päässä sijaitsevalle käsittelylaitokselle. Tilalle kuljetetaan sama määrä puhdasta maata ja se levitetään kaivualueelle. Lopuksi kohde viimeistellään maisemoimalla.

Massanvaihto ja peitto

Toisessa kunnostusvaihtoehdossa alueelle rakennettavan kiinteistön pohjan alueelta (1500 m²) poistetaan pilaantuneet maamassat, jotka poistettaisiin joka tapauksessa rakennustöiden vuoksi. Muu ohjearvotason ylittävä osa tonttia peitetään 0,5 metrin puhtaalla maakerroksella. Rakennettavan kiinteistön pohjan alueelta kaivettavan maa-aineksen määräksi arvioitiin yhteensä 375 m³ltr. Kaivettu maa-aines loppusijoitetaan 40 km päässä olevalle käsittelylaitokselle. Lisäksi kiinteistön pohjan alueelta poistetaan 375 m³ltr maata, joka ei ole pilaantunutta. Tämä maa käytetään lievästi pilaantuneen maan peittoon.

Alueelle tuotavaa puhdasta maata tarvitaan yhteensä 2175 m³ltr. Siihen kuuluvat sekä kaivuun täyttöön käytettävä sora että muun alueen peittomaaksi käytettävä moreeni. Ennen peittomaan levittämistä alueelle asennetaan havainnointiverkko tai vastaava puhtaan ja pilaantuneen maan välille. Täytön ja maan peiton jälkeen alue viimeistellään.

Peitto

Peitto-vaihtoehdossa koko pilaantunut maa-alue peitetään 1 m puhtaalla maakerroksella. Peitettävän alueen pinta-alaksi arvioitiin 2850 m². Peittoon tarvittavan puhtaan maa-aineksen määrä on siis 2850 m³ltr. Puhdas maa (soramurske ja moreeni) kuljetetaan alueelle 40 km päästä. Kuljetuksen jälkeen maa-aines levitetään alueelle, ja lopuksi alue viimeistellään ja tarkistetaan.

Kauppapuutarhan GoldSET-kestävyysarviointi

Kauppapuutarhakohteen GoldSET-arviointi suoritettiin pohjautuen PIRRE-hankkeen kuvaukseen ja PIRTU-laskelmiin (Antikainen ja Sorvari, 2005b). Indikaattorien valinta ja laadullisten indikaattorien arviointi suoritettiin PIRISTE-hankkeen asiantuntijoiden kanssa.

Laskennalliset arvioinnit (jätteen määrä, puhtaan maaperän määrä, työn kesto ja kustannukset) tehtiin PIRRE-hankkeen PIRTU-laskelmien avulla. Energiankulutus ja

kasvihuonekaasupäästöt laskettiin hiilijalanjälkilaskurilla. Kaikissa kolmessa kunnostusvaihtoehdossa laskurissa huomioitiin maa-ainesten kuljetukset ja niiden etäisyydet sekä maan kaivuuseen tai levitykseen käytetty aika.

5. Työn tulokset ja tulosten tarkastelu

Seuraavassa osiossa esitetään kestävyysarviointien tulokset JASKA-hankkeen huoltoasemakohteelle sekä kolmelle PIRRE-hankkeessa kuvatulle esimerkkikohteelle. Tulosten tarkastelussa pohditaan koko kestävyiden arviointiprosessia sekä sitä, mistä kunnostukseen liittyvästä toiminnasta kestävyiden eri osa-alueiden tulokset johtuivat.

5.1 GoldSET –työkalulla tehty huoltoasemakohteen kestävyysarviointi

5.1.1 Valitut indikaattorit ja niiden painokertoimet

GoldSET-laskelmissa kestävyysanalyysiin valittiin ympäristöön, ihmisiin, talouteen ja tekniseen toteutukseen liittyvät esimerkkikohteelle olennaiset indikaattorit (taulukko 9). Huoltoasemakohde on pieni ja suhteellisen lievästi pilaantunut, eikä sillä ollut havaittu olevan vaikutuksia pohjaveteen eikä pintavesiin. Kunnostuksen ekologiset vaikutukset eivät myöskään ole mm. alueen koosta johtuen merkittäviä, joten niitä ei sisällytetty ympäristöön liittyviin indikaattoreihin. Maaperän laatu – indikaattori kuvastaa kunnostuksella saavutettua pilaantuneen maan laadun paranemista ja sitä pidettiin merkittävänä, koska kunnostuksen tavoitteena oli puhdistaa maaperä asetettuun tavoitetasoon.

Taulukko 9. GoldSET-työkalulla suoritetussa arvioinnissa käytetyt indikaattorit ja niiden painotukset huoltoasemakohteessa

Ympäristö-vaikutukset		Sosiaaliset vaikutukset		Taloudelliset vaikutukset		Tekniset tekijät	
Maaperän laatu	3	Työn kesto*	2	Muodostuvat kustannukset*	3	Menetelmän joustavuus	1
Kasvihuonekaasupäästöt*	1	Työstä aiheutuvat häiriöt	1	Menetelmän taloudelliset epävarmuudet	1	Rakentamisen monimutkaisuus	1
Päästöt ilmaan	2	Alueen käyttö	1			Toteutuksen ja ylläpidon monimutkaisuus	1
Energian kulutus*	1	Yleinen terveys ja turvallisuus	1			Purkutöiden monimutkaisuus	1
Jätteen määrä*	2	Työntekijöiden terveys ja turvallisuus	1			Tekninen epävarmuus	2
Jätteen käsittely	2						

(* osoittaa laskennalliset indikaattorit)

Kunnostuksen olennaiset sosiaaliset vaikutukset kohdistuivat ainoastaan kohdealueen asukkaisiin ja siellä asioiviin henkilöihin. Tämän takia indikaattoreita, jotka koskivat laajemmin alueen yhteisöä, ei huomioitu. Sosiaalisista vaikutuksista työn kesto koettiin merkittävimmäksi. Työn kesto vaikuttaa kohteessa asuvien elämään ja liiketoimintaan alueelle muodostuvien mahdollisten käyttörajoitteiden takia.

Kunnostuksen kustannuksia pidettiin yhtenä merkittävimmistä tekijöistä, joten niille annettiin suuri painokerroin. Myös menetelmän taloudelliset epävarmuudet valittiin indikaattoriksi, sillä niitä pidettiin kunnostushankkeen toteutuksen kannalta tärkeinä. Taloudellisista indikaattoreista ei huomioitu indikaattoreita, jotka koskivat mahdollisia oikeudenkäyntiä koskevia riitoja ja verohelpotusten ja avustusten saamista. Kaikki vertailtavat menetelmät olivat laillisesti toteuttamiskelpoisia ja vaativat ilmoitusmenettelyn mukaisen hyväksynnän.

Teknisistä tekijöistä painotettiin eniten teknistä epävarmuutta. Kunnostusmenetelmien varmuutta pidettiin olennaisena tekijänä kunnostusmenetelmän valinnassa. Teknisistä indikaattoreista ei huomioitu epäonnistumisen riskiä eikä menetelmän uskottavuutta, sillä nämä indikaattorit vastaavat määritelmiltään teknistä epävarmuutta.

5.1.2 Laadullisen analyysin tulokset

Laadullisen analyysin tulokset on esitetty liitteen 3 taulukoissa 1,2,3 ja 4. Arvioinnissa keskityttiin ympäristövaikutusten osalta maaperän laatuun, ilmapäästöihin ja jätteiden muodostumiseen. Maaperän laatu oli heikoin biologisessa kunnostuksessa johtuen kunnostuksen epävarmuudesta haitta-aineiden hajoamisesta. Ilmapäästöjen ja jätehuollon osalta taas biologinen puhdistus on paras vaihtoehto.

Sosiaalista vaikutuksista arvioitiin kunnostuksesta aiheutuvia häiriöitä, alueen käyttöä sekä alueen asukkaiden ja työntekijöiden terveyttä ja turvallisuutta. Biologisella kunnostuksella on vähiten vaikutusta alueen käyttöön. Muilla indikaattoreilla ei syntynyt merkittäviä eroja eri kunnostusmenetelmien välille.

Taloudellisesti varmimpina vaihtoehtoina pidettiin massanvaihtoa ja yhdistelmämenetelmää (biologinen kunnostus ja massanvaihto). Massanvaihto oli arvioijien mielestä myös teknisesti varmin vaihtoehto. Biologinen kunnostus olisi haastavin rakentaa johtuen ravinneputkien asennuksesta. Purkutöissä massanvaihto arvioitiin heikoimmaksi vaihtoehdoksi johtuen suuresta määrästä maa-ainesten kuljetuksia.

5.1.3 Kvantitatiivisen kestävyysanalyysin tulokset

Kvantitatiivisessa analyysissä kunnostusvaihtoehtoja verrattiin laskennallisten indikaattorien avulla. Tulosten mukaan energiakulutus ja kasvihuonepäästöt ovat huomattavasti pienemmät tehostetussa biologisessa kunnostuksessa kuin kahdessa muussa kunnostusvaihtoehdossa (taulukko 10). Suurimmat päästöt muodostuvat massojen kuljetuksista, joita ei tarvita biologisessa kunnostuksessa. Korkeimmat

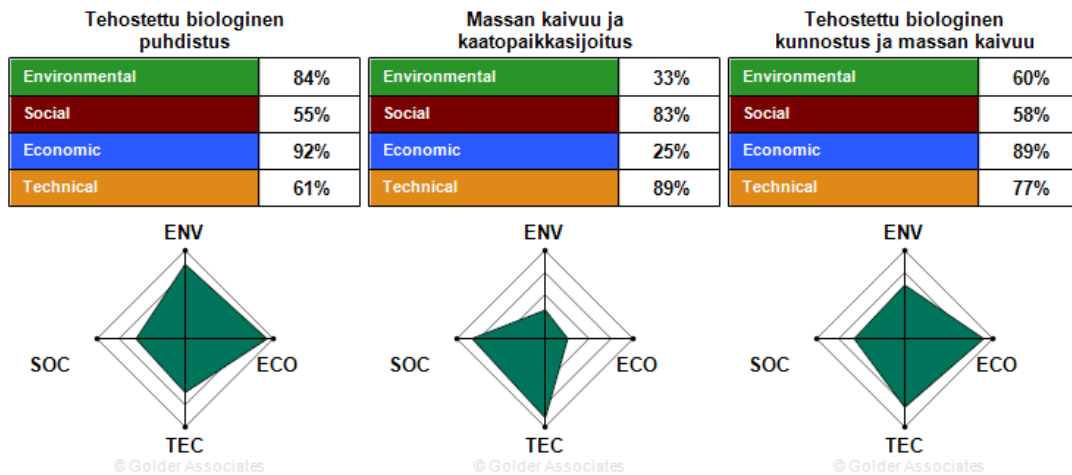
kustannukset muodostuvat massan kaivussa ja kaatopaikkasijoituksessa. Biologisen kunnostuksen kustannukset ovat noin kaksinkertaiset verrattuna kahteen muuhun kunnostusvaihtoehtoon.

Taulukko 10. Huoltoasemakohteen GoldSET-ohjelmalla suoritettujen kvalitatiivisten analyysien tulokset

Indikaattori	Yksikkö	Tehostettu biologinen kunnostus	Massan kaivuu ja kaatopaikkasijoitus	Tehostettu biologinen kunnostus ja massan kaivuu
Kasvihuonekaasupäästöt	t CO ₂ -e	1.03	2.04	1.78
Energiankulutus	GJ PFE	15	29.4	25.78
Jätteen määrä	tonni	0	330	168
Työn kesto	vuotta	2	0.5	1.5
Kunnostuksen kustannukset	skaalatut	100	0	86

5.1.4 Eri kunnostusvaihtoehtojen kestävyys

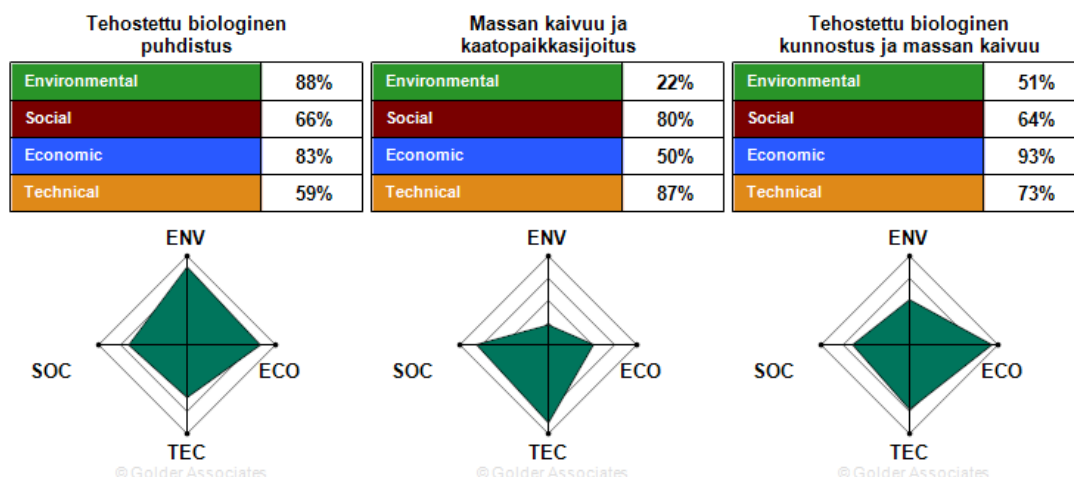
GoldSET – analyysien tulokset on esitetty graafisesti alla olevassa kuvassa 8. Tulokset kuvaavat olennaisiksi tunnistettujen indikaattorien perusteella laskettuja painotettuja, jokaisen kestävyysosan alueen keskiarvoja.



Kuva 8. Huoltoasemakohteen painotetut GoldSET-kestävyyssarvioinnin kokonaistulokset jokaiselle kestävyden osa-alueelle.

Tulokset vaihtelivat osa-alueiden välillä. Yksikään kunnostusvaihtoehto ei ole selvästi kestävin ratkaisu ottaen huomioon kaikki osa-alueet. Ympäristövaikutusten osalta selvästi heikoimman tuloksen sai massan kaivu ja kaatopaikkasijoitus, mikä johtui jätteen suuresta määrästä sekä suuresta energiankulutuksesta ja ilmapäästöistä, joita muodostuu massojen kuljetuksista. Sosiaalisten vaikutusten tulos määräytyy suurilta osin kunnostuksen kestosta, joka on massan kaivussa lyhyempi kuin biologisessa kunnostuksessa ja yhdistelmämenetelmävaihtoehdossa. Taloudellisissa vaikutuksissa tulokset määräytyvät kokonaiskustannuksista, joita painotettiin merkittävästi. Tehostetun biologisen kunnostuksen sekä yhdistelmävaihtoehdon kustannukset ovat selvästi alhaisemmat kuin massan kaivun. Teknisissä tekijöissä tehostetun biologisen kunnostuksen heikompaan tulokseen vaikuttaa kunnostusmenetelmän tekninen epävarmuus ja joustamattomuus.

Painotuksen vaikutusta tuloksiin tutkittiin asettamalla kaikille indikaattoreille sama painoarvo 1. Tulokset on esitetty kuvassa 9. Tuloksia vertailtaessa voidaan todeta, että painotukset vaikuttavat tuloksiin merkittävästi. Muun muassa taloudellisissa vaikutuksissa kokonaiskustannusten painotus näkyy siten, että massan kaivun tulos heikkenee huomattavasti. Tämän vuoksi on tärkeää, että painotuksiin osallistuu useita henkilöitä eri sidosryhmistä.



Kuva 9. Huoltoasemakohteen GoldSET-kestävyyssarvioinnin kokonaistulokset siten, että kaikilla indikaattoreilla oli sama painoarvo 1.

5.1.5 Tarkasteltavat kriteerit PIRTU-ohjelmassa

PIRTU-laskentatyökalu koostuu neljästä osa-alueesta (riskit, ympäristövaikutukset, kustannukset ja muut vaikutukset). Jokaisesta osa-alueesta valittiin huoltoasemakohteessa merkittävät indikaattorit (taulukko 11).

Taulukko 11. PIRTU-ohjelmalla tehdyssä huoltoasemakohteen kunnostusvaihtoehtojen kestävyysanalyysissä käytetyt indikaattorit ja niiden painotukset

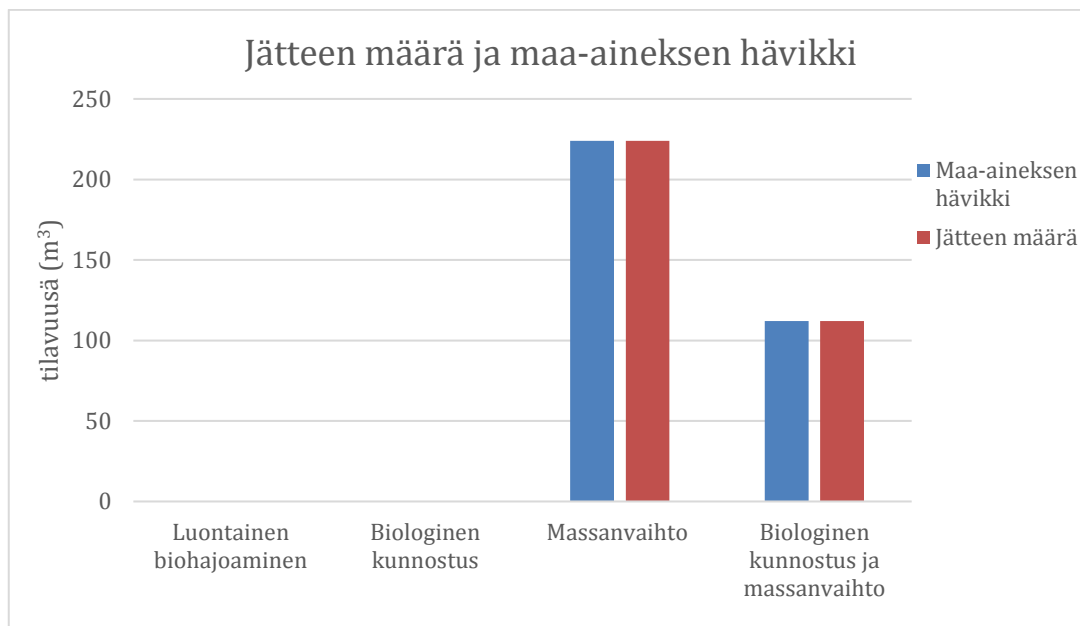
Riskit		Ympäristövaikutukset		Kustannukset		Muut vaikutukset	
Terveysriskit		Maa-aineksen hävikki	x	Kokonais-kustannukset	x	Psykososiaaliset vaikutukset	
Ekologiset riskit		Pohjaveden hävikki				Kunnostuksesta aiheutuvat ekologiset vaikutukset	x
Pohjavesiriskit		Energian kulutus	x			Vaikutukset imagoon	x
		Ilmapäästöt	x			Vaikutukset alueen arvostukseen	x
		Jätteen muodostuminen	x			Vaikutukset maaperän laatuun	
		Maankäyttö	x				

Riski-indeksien määrittämisen tulokset

Riskit osiossa pyrittiin määrittämään tarkastelluissa kunnostusvaihtoehdoissa saavutettavat riskien vähenemät. Olennaiseksi altistumisreitiksi saadaan altistuminen sisäilman kautta. Riskit sisäilman kautta altistumiseen eivät kuitenkaan ole merkittäviä, joten terveysriskejä ei määritetty kvantitatiivisesti. Alueen ekologisia riskejä ei pidetty merkittävänä alueen sijainnin ja käyttötarkoituksen vuoksi. Vesistöjen ekologiset riskit ja pohjavesiriskit jätettiin myös määrittämättä, sillä kohteessa ei esiintynyt kohonneita öljyhiilivetytypitoisuuksia pohjavedessä tai vesistöissä. Pohjaveden pinta on lisäksi 17 m syvyydessä, kun taas pilaantunut maa-aines on 1-3 metrin syvyydessä, joten haitta-aineiden kulkeutuminen pohjaveteen pidettiin epätodennäköisenä. Riskit – osiota ei edellä kuvatun perusteella otettu mukaan kestävyysarviointiin.

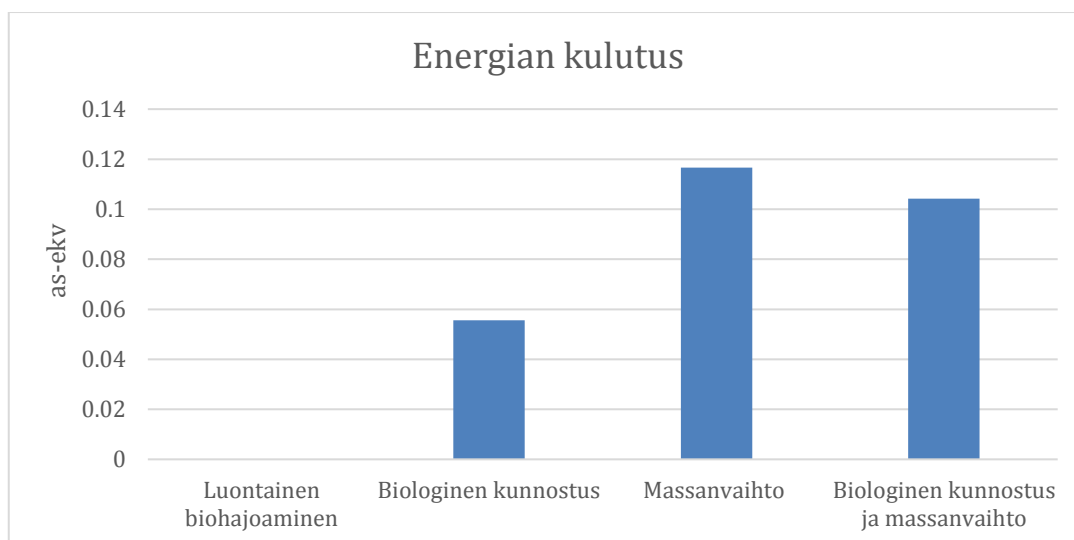
5.1.6 PIRTU-analyysin tulokset

Analyysin tulokset koostuvat ympäristövaikutuksista, kustannuksista sekä muista sosiaalisista vaikutuksista. Ympäristövaikutusten osa-alueessa määritettiin eri kunnostusvaihtoehdoille maa-aineksen hävikki, energian kulutus, ilmanpäästöt, jätteen määrä ja maankäyttö. Kuvassa 10 on esitetty arvioidut maa-aineksen hävikit sekä jätteen määrät eri kunnostusvaihtoehdoissa. Maa-aineksen hävikki ja jätteen määrä ovat yhtä suuret johtuen siitä, että jätteen määrässä huomioitiin ainoastaan pilaantuneet maa-ainekset. Luontaisessa biohajoamisessa sekä biologisessa kunnostuksessa ei muodostu jätettä eikä maa-aineksen hävikkiä. Massanvaihdossa puolestaan syntyy jätettä ja maa-aineksen hävikkiä puolet enemmän kuin yhdistelmävaihtoehdossa johtuen siitä, että kaivettavan massan määrä on puolet pienempi.

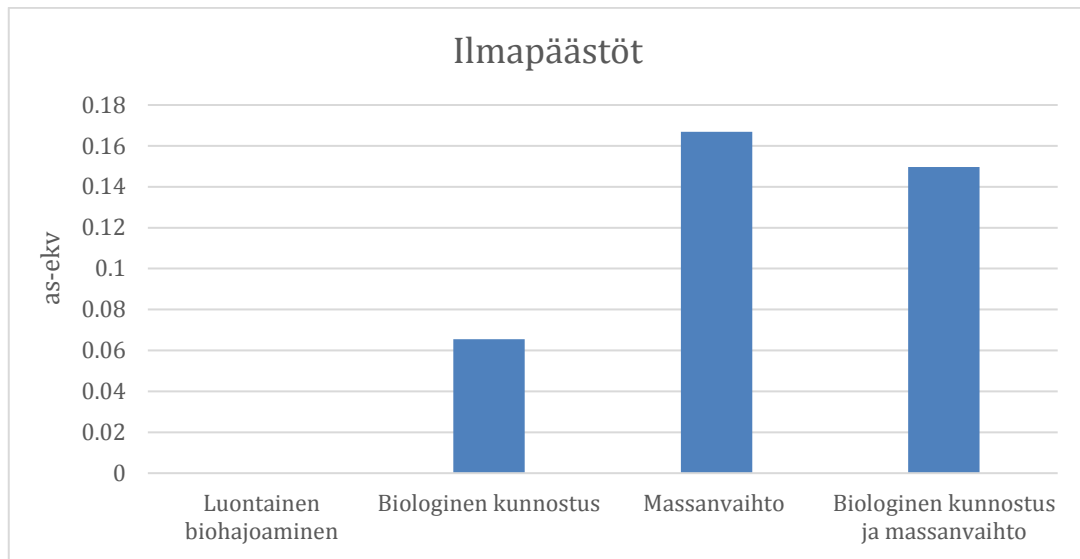


Kuva 10. PIRTU-laskentatyökalussa lasketut jätteen määrät ja maa-aineksen hävikit eri kunnostusvaihtoehtoissa huoltoasemakohteessa

Massanvaihto kuluttaa eniten energiaa ja siinä muodostuu eniten ilmapäästöjä (kuva 11, kuva 12). Nämä aiheutuvat suurilta osin maa-aineksen kuljetuksista, joita on massanvaihdossa huomattavasti enemmän kuin kahdessa muussa vaihtoehdossa. Biologisessa kunnostuksessa kuljetuksia tulee ainoastaan ravinneputkien sekä työntekijöiden kuljetuksista. Massanvaihto sisältää myös enemmän kaivutyötä, mikä kasvattaa energiankulutusta ja ilmapäästöjen määrää.

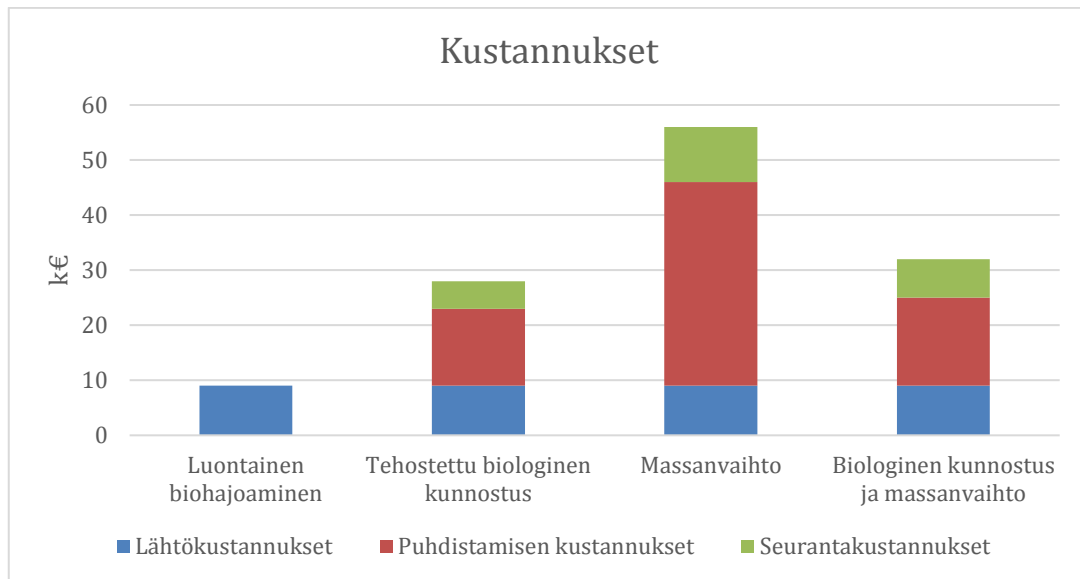


Kuva 11. PIRTU-laskentatyökalussa määritetyt energian kulutukset eri kunnostusvaihtoehtoille huoltoasemakohteessa



Kuva 12. PIRTU-laskentatyökalussa määritetyt päästöt ilmaan eri kunnostusvaihtoehdoille huoltoasemakohteessa

Kustannuksiltaan kallein kunnostusmenetelmä on massan kaivu ja sijoitus kaatopaikalle (kuva 13). Massanvaihdossa kustannukset ovat selvästi korkeammat kuin kahdessa muussa vaihtoehdossa. Massanvaihdossa kunnostuskustannukset koostuvat maanrakennuksesta, massojen kuljetuksista sekä kaatopaikkamaksuista. Biologisessa kunnostuksessa puhdistamisen kustannuksia aiheuttavat ravinneputkien asennus, ravinteiden syöttö ja laitteiston purku. Seurantakustannukset ovat massanvaihdossa hieman suuremmat johtuen siinä tarvittavasta laajemmasta valvonnasta.



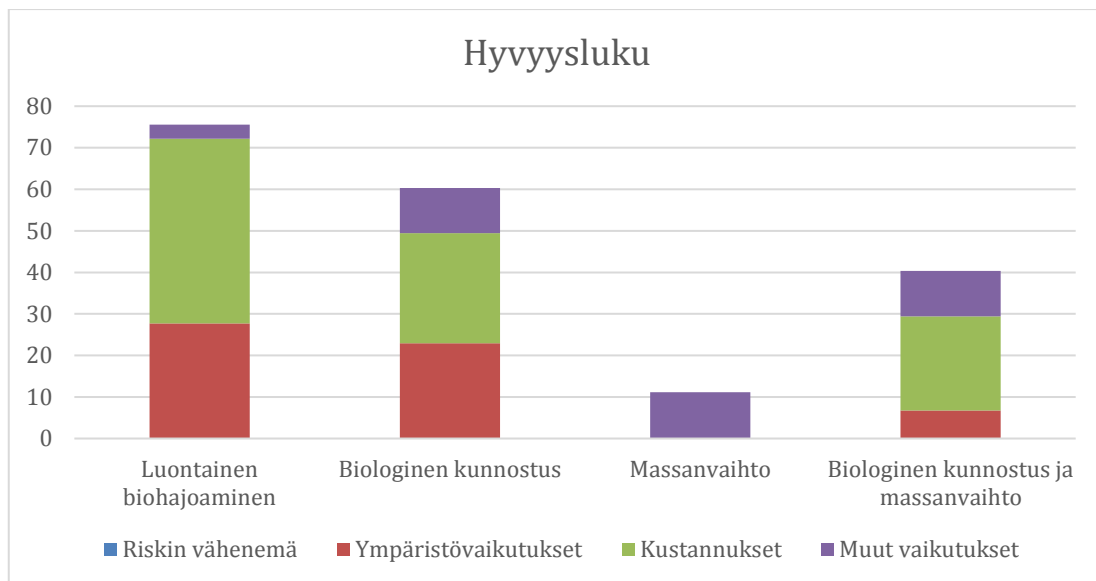
Kuva 13. PIRTU-laskentatyökalussa arvioidut kustannukset eri kunnostusvaihtoehtojen huoltoasemakohteessa

Muissa vaikutuksissa arvioitiin kunnostusmenetelmien psykososiaalisia vaikutuksia, vaikutuksia imagoon ja vaikutuksia alueen arvostukseen. Psykososiaalisissa vaikutuksissa tarkasteltaessa havaittiin, että kunnostuksen toteuttamisella on kaikissa kunnostusvaihtoehtojen vähäinen positiivinen vaikutus. Ainoastaan luontaisella biohajoamisella on vähäiset negatiiviset psykososiaaliset vaikutukset johtuen kunnostuksen pitkästä kestosta ja epävarmuudesta tavoitetasojen saavuttamisessa. Kunnostuksien imago-vaikutukset ovat positiivisia jokaiselle kunnostusmenetelmälle paitsi luontaisessa biohajoamisessa. Kunnostuksella on myös vähäinen positiivinen vaikutus alueen arvostukseen kaikissa kunnostusmenetelmissä.

Alueen asukkaita, joihin kunnostustoimenpiteet voivat vaikuttaa, on vähän. Tämän vuoksi sosiaalisten vaikutusten merkitys on suhteellisen pieni. Tärkeintä on toteuttaa kunnostus siten, että se päättyy ennen mahdollisia rakennustöitä. Tämä onnistuu kaikilla kolmella menetelmällä luontaista biohajoamista lukuun ottamatta. Tästä johtuen menetelmien välillä ei saatu merkittäviä eroja sosiaalisissa vaikutuksissa.

Analyysissä painotettiin eri osa-alueiden tuloksia. Kunnostuksen kannalta merkittävimpinä seikkoina pidettiin sitä, että kunnostuksella saavutetaan asetettu riskitaso ja, että kustannukset ovat kohtuulliset. Painotukset on otettu mukaan hyvyysluvuissa, jotka esittävät kaikkien osa-alueiden yhteistulosta. Hyvyysluvut

määritettiin jokaisen osa-alueen skaalatuista tuloksista, ja ne on esitetty jokaiselle kunnostusmenetelmälle kuvassa 14.



Kuva 14. PIRTU-ohjelmalla lasketut kokonaiskestävyyttä kuvaavat hyvyysluvut eri kunnostusmenetelmille huoltoasemakohteessa

Korkein hyvyysluku on luontaisella biohajoamisella johtuen siitä, että menetelmän kustannukset ja ympäristövaikutukset ovat pieniä. Luontainen biohajoaminen toimi vertailukohteena, jota ei voitu pitää realistisena vaihtoehtona, sillä tavoitetason saavuttamiseen kuluisi liian pitkä aika. Kolmesta vertailtavasta kunnostusmenetelmästä paras hyvyysluku on tehostetulla biologisella kunnostuksella, jolla on alhaisimmat kustannukset sekä vähäisimmät ympäristövaikutukset.

5.1.7 Huoltoasemakohteen tulosten tarkastelu

GoldSET- ja PIRTU- ohjelman tuloksien perusteella yksikään kunnostusmenetelmistä ei ollut selvästi paras vaihtoehto huoltoasemakohteessa. Tuloksista huomataan selvästi, että biologisella kunnostuksella saavutetaan kustannussäästöjä ja ympäristövaikutukset, kuten ilmanpäästöt ja energiankulutus, ovat alhaisimmat. Maa-aineksen kaivussa ja kaatopaikkasijoituksessa ympäristövaikutuksiin vaikuttavat suurilta osin massojen kuljetusten suuri määrä. Kuljetukset ja kaatopaikkasijoitus ovat syy korkeisiin kustannuksiin.

Teknisesti biologinen puhdistus on epävarmempi kuin muut tarkastellut kunnostusvaihtoehdot. PIRTU-ohjelmassa ei mitattu lainkaan menetelmän teknistä soveltuvuutta. Biologisen kunnostuksen soveltuvuutta on vaikea arvioida etukäteen, sillä haitta-aineiden biologisen hajoamisen tehokkuutta on haastavaa ennustaa. Muun muassa kunnostuksen kesto voi vaihdella olosuhteista riippuen, jolloin sitä on vaikeaa määritellä etukäteen. Tämän takia biologisen kunnostuksen vaikutusten arvioiminen etukäteen on haastavaa.

Huoltoasemakohteessa sosiaaliset vaikutukset ovat suhteellisen vähäisiä, minkä vuoksi niitä oli muun muassa hankala arvioida. Sosiaalisissa vaikutuksissa ei ole eroja menetelmien välillä, sillä kaikilla menetelmillä oli mahdollista saavuttaa asetetut kunnostustavoitteet.

Tulosten lisäksi kestävyysarvioinneissa merkittävää on koko prosessi. On tärkeää tunnistaa kohteelle merkittävimmät indikaattorit ja sitä kautta mahdollistaa eri kunnostusmenetelmien vertailun. Merkittävässä roolissa on myös tulosten linkitys niistä johtuviin toimenpiteisiin. Esimerkiksi korkeat kustannukset ja merkittävät ympäristövaikutukset johtuvat suurilta osin massojen kuljetuksista.

5.2 GoldSET- tulokset ampumaratakohteelle

5.2.1 Indikaattorien valinta

Ampumaratakohteen kestävyysarviointiin valitut indikaattorit ja niiden painotukset on esitetty taulukossa 12. Kohteen kestävyysarvioinnissa painotettiin maaperän sekä pohjaveden laatua. Kunnostuksen tarkoituksena on talousveden saannin varmistaminen ja vedenottamon suojelu, jonka vuoksi painotettiin pohjaveden laatua. Kohteessa tärkeänä pidettiin myös kiertotalouden edistämistä muun muassa kierrättämällä kaivetut maa-ainekset sekä maaperästä poistetut haulit. Tämän vuoksi jätteen käsittelylle annettiin painokerroin 2. Ympäristövaikutuksista huomioitiin lisäksi muun muassa kunnostuksen aiheuttamat ekologiset vaikutukset, vaikutukset juomaveden saantiin sekä laskennallisista indikaattoreista energian kulutus, kasvihuonekaasupäästöt ja jätteiden määrät.

Taulukko 12. GoldSET-arvioinnissa käytetyt indikaattorit ja niiden painotukset
PIRRE-ampumaratakohteessa

Ympäristö- vaikutukset		Sosiaaliset vaikutukset		Taloudelliset vaikutukset		Tekniset tekijät	
Kunnostetun maaperän määrä*	1	Työn kesto*	1	Muodostuvat kustannukset*	1	Rakentamisen monimutkaisuus	1
Alueen ekologiset vaikutukset	1	Alueen asukkaiden näkemykset	1			Toteutuksen ja ylläpidon monimutkaisuus	1
Kasvihuonekaasu päästöt*	1	Työstä aiheutuvat häiriöt	1			Epäonnistumisriski	2
Päästöt ilmaan	1	Alueen käyttö	1			Tekninen epävarmuus	1
Pohjaveden laatu	3	Yleinen terveys ja turvallisuus	1				
Vaikutukset talousveden saantiin	1	Alueelliset työllistävät vaikutukset	1				
Energian kulutus*	1						
Jätteen määrä*	1						
Jätteen käsittely	2						
Vaarallisen jätteen määrä*	1						
Veden käyttö*	1						

(* osoittaa laskennalliset indikaattorit)

5.2.2 Kvalitatiivisen analyysin tulokset

Kvalitatiivinen analyysi suoritettiin pisteyttämällä valitut laadulliset indikaattorit ampumaratakohteelle. Indikaattorit ja niiden tulokset on esitetty liitteen 4 taulukoissa 1, 2, 3 ja 4. Ympäristötekijöistä vaikutukset alueen ekologiaan, pohjaveden laatu sekä jätteen käsittely olivat merkittävimpiä laadullisia

indikaattoreita. Kaikilla kolmella indikaattorilla parhaimmaksi vaihtoehdoksi arvioitiin reaktiivisen seinämän rakentaminen.

Sosiaalisella ja teknisellä osa-alueella suurin osa indikaattoreista on laadullisia. Sosiaalisissa indikaattoreissa arvioitiin muun muassa kunnostuksista aiheutuvia häiriötä, sosiaalista hyväksyttävyyttä, alueen käyttöä ja yleistä terveyttä. Reaktiivisessa seinämässä sosiaalinen hyväksyttävyys ja alueen käyttö ovat heikommat verrattuna kahteen muuhun vaihtoehtoon johtuen maahan jätettävistä haitta-aineista. Kunnostusten aikaiset häiriöt ovat vähäisimmät reaktiivisessa seinämässä.

Teknisellä osa-alueella arvioitiin kunnostusmenetelmien teknistä epävarmuutta sekä rakentamisen, toteutuksen ja ylläpidon monimutkaisuutta. Kaivu ja loppusijoitus on menetelmistä varmin sekä yksinkertaisin toteuttaa. Reaktiivisessa seinämässä epäonnistumisriskit ovat suurimmat ja kunnostus oli toteutettavuudeltaan haastavin.

5.2.3 Kvantitatiivisen analyysin tulokset

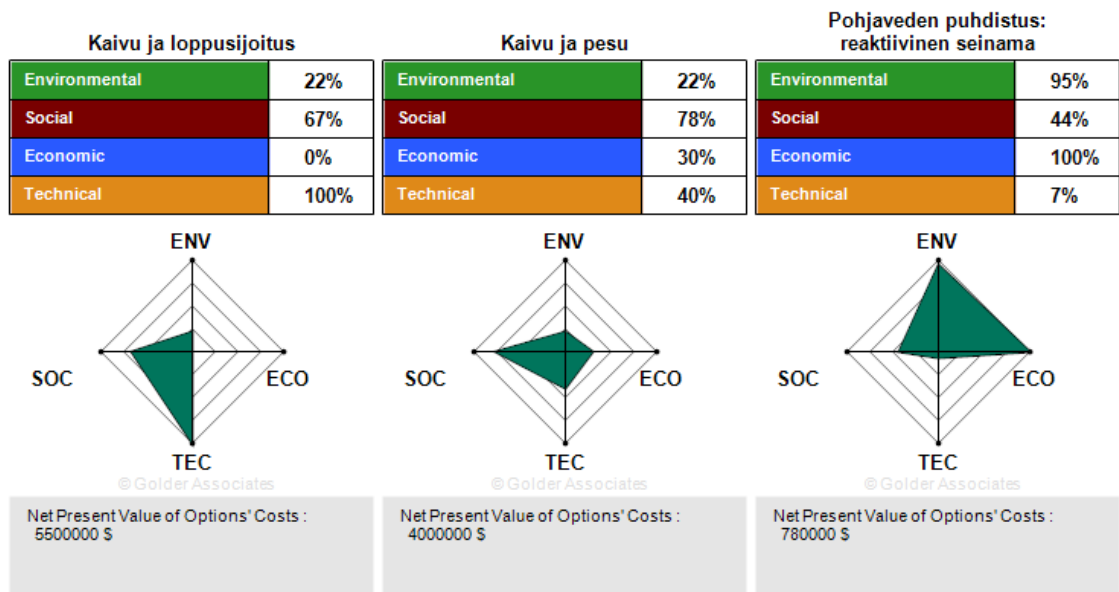
Laskennallisessa analyysissä määritettiin eri kunnostusmenetelmien laskennalliset indikaattorit (taulukko 13). Reaktiivisessa seinämässä energian kulutus ja kasvihuonekaasupäästöt ovat selvästi alhaisemmat kuin kahdessa muussa kunnostusvaihtoehdossa. Jätteiden määrä muodostuu kaatopaikalle sijoitettavista maa-aineksista, jotka ovat selvästi suurin kaivussa ja kaatopaikkasijoituksessa. Pesussa syntyvä rejekti luokitellaan vaaralliseksi jätteeksi. Vettä käytetään merkittävässä määrin ainoastaan maa-aineksen pesussa. Kustannukset ovat selvästi matalammat reaktiivisessa seinämässä kuin muissa vaihtoehdoissa.

Taulukko 13. PIRRE-Ampumaratakohteen GodSET-ohjelmalla laskettujen kvantitatiivisten indikaattorien tulokset

Indikaattori	Yksikkö	Kaivu ja loppusijoitus	Kaivu ja pesu	Reaktiivinen seinämä
Kasvihuonekaasupäästöt	t CO ₂ -e	450	490	20
Energian kulutus	GJ PFE	6560	7050	290
Jätteen määrä	tonni	54 900	0	0
Vaarallisen jätteen määrä	tonni	0	3500	0
Käytetyn veden määrä	litra	0	50000	0
Maaperän määrä, josta haitta-aineet on poistettu	tonni	54 900	54 900	14300
Työn kesto	vuotta	1	1	29
Kustannukset	euro	5 475 000	4 044 000	777 000

5.2.4 Kestävyyssarvioinnin tulokset ja tulosten tarkastelu

Ampumarata-kohteen GoldSET-analyysin tulokset on esitetty kuvassa 15. Kunnostusvaihtoehtojen kestävyiden välillä on tulosten perusteella merkittäviä eroja ja kuvassa 15 esitetyt kuvaajat painottuvat eri menetelmien osalta hyvin eri tavalla. Ympäristövaikutusten osalta reaktiivinen seinämä on paras vaihtoehto. Reaktiivisen seinämän vaihtoehdossa on selvästi pienemmät kasvihuonekaasupäästöt, energian kulutus sekä jätteen määrä kuin kahdessa muussa vaihtoehdossa. Tämä selittyy suurilta osin maan kaivulla ja maa-ainesten kuljetuksilla, joita esiintyy kahdessa muussa vaihtoehdossa merkittävästi enemmän. Pohjaveden laatu parani reaktiivisen seinämän vaihtoehdossa. Muissa vaihtoehdoissa pohjavettä ei kunnostettu vaan rakennettiin uusi vedenottamo.



Kuva 15. PIRRE-ampumaratakohteen GoldSET – ohjelmalla suoritettun kestävyysarvioinnin kokonaistulokset

Sosiaalisissa vaikutuksissa massojen pesu on hieman parempi vaihtoehto kuin massojen loppusijoitus kaatopaikalle. Ero syntyi pesun aiheuttamista vähäisemmistä häiriöistä. Massojen loppusijoituksessa syntyi maa-ainesten kuljetuksista aiheutuvia mahdollisia häiriöitä sekä turvallisuusriskejä. Reaktiivinen seinämä on selvästi heikoin vaihtoehto johtuen sosiaalisesta hyväksyttävyydestä liittyen haitta-aineiden jättämiseen maaperään.

Kustannuksissa huomioitiin ainoastaan menetelmien arvioidut kokonaiskustannukset, joiden osalta reaktiivinen seinämä oli edullisin vaihtoehto. Teknisissä vaikutuksissa kaivu ja loppusijoitus on paras vaihtoehto johtuen menetelmän varmuudesta ja toteutuksen yksinkertaisuudesta. Reaktiiviseen seinämään perustuvaan kunnostukseen liittyvät puolestaan suurimmat epävarmuustekijät sekä epäonnistumisen riski ja epäonnistumisesta aiheutuvat vahingot. Teknisesti reaktiivinen seinämä on myös haastavin rakentaa ja ylläpitää.

Kustannusten suuret erot tuloksissa johtuvat osittain tulosten skaalauksesta. Kustannukset skaalattiin ohjelmassa siten, että edullisin vaihtoehto sai arvon 100 %, kallein vaihtoehto 0 % ja väliin jäävä skaalattiin suhteessa näihin ääri vaihtoehtoihin.

Skaalaus ei huomioi kustannusten suuruusluokkia, joten vaikka kustannukset olisivat suhteellisen lähellä toisiaan, voi tuloksissa olla huomattavia eroja.

5.3 Saha-alueen GoldSET-ohjelman kestävyysarviointi

5.3.1 Valitut kestävyysindikaattorit ja niiden painokertoimet

Saha-alueen kunnostushankkeelle suoritettiin GoldSET-arviointi, jossa verrattiin edellä esitettyjen kunnostusmenetelmien sosiaalisia, taloudellisia ja ympäristövaikutuksia (taulukko 14). Alue on pilaantunut dioksiineilla ja furaaneilla, jotka voivat olla myrkyllisiä. Tämä vaikuttaa siihen, että kohteessa merkittävimmät tekijät olivat maaperän laatu kunnostuksen jälkeen ja kunnostusmenetelmän sosiaalinen hyväksyttävyys. Kohteessa painotettiin ympäristövaikutuksista kunnostetun maaperän määrää siitä näkökulmasta, että haitta-aineet saadaan poistettua hallitusti. Muita huomioituja ympäristöindikaattoreita olivat kasvihuonekaasupäästöt, energiankulutus sekä jätteen määrä ja jätteen käsittely.

Taulukko 14. Saha-alueen GoldSET-arvioinnissa käytetyt indikaattorit ja niiden painotukset

Ympäristövaikutukset		Sosiaaliset vaikutukset		Taloudelliset vaikutukset	
Kunnostetun maaperän määrä*	2	Työn kesto*	1	Muodostuvat kustannukset*	1
Kasvihuonekaasupäästöt*	1	Alueen asukkaiden näkemykset	3		
Energian kulutus*	1	Alueen käyttö	1		
Jätteen määrä*	1	Yleinen terveys ja turvallisuus	1		
Jätteen käsittely	1	Työntekijöiden terveys ja turvallisuus	1		
Vaarallisen jätteen määrä*	1	Luvat ja vaatimukset	1		

(* osoittaa laskennalliset indikaattorit)

Sosiaalisista vaikutuksista painotettiin alueen sosiaalisia näkemyksiä. Maaperän peitossa haitta-aineita jätetään maaperään mikä saattaa olla sosiaalisesti hyväksymätöntä. Lisäksi huomioitiin työn kesto, alueen käyttö sekä alueen yleinen ja työntekijöiden terveys ja turvallisuus. Luvat ja vaatimukset huomioitiin johtuen siitä, että luvan saaminen haitta-aineiden maaperään jättämiselle saattaa aiheuttaa haasteita. Kustannuksissa huomioitiin muodostuvat kokonaiskustannukset. Teknisiä vaikutuksia ei otettu huomioon sillä jokainen vertailtavista menetelmistä oli teknisesti toteutettavissa. Kunnostusmenetelmät ovat yleisesti käytössä sekä yksinkertaisesti toteutettavissa.

5.3.2 Kvalitatiivisen analyysin tulokset

Saha-alueen GoldSET-arvioinnissa valittuja laadullisia indikaattoreita arvioitiin pisteyttämällä eri kunnostusvaihtoehdot. Laadullisen arvioinnin tulokset on esitetty liitteessä 5 taulukoissa 1, 2 ja 3.

Kohteeseen valitut laadulliset indikaattorit sisälsivät ympäristövaikutusten osalta ainoastaan jätteen käsittelyn. Jätteen käsittelyssä massanvaihdon ja peiton yhdistelmä on paras vaihtoehto, koska sijoitettavan pilaantuneen maa-aineksen määrä on vähäisin. Sosiaalisissa vaikutuksissa laadullisia indikaattoreita on useita, kuten sosiaalinen hyväksyttävyys, alueen käyttö, yleinen ja työntekijöiden terveys ja turvallisuus. Suurimmat erot eri kunnostusvaihtoehtojen välille syntyvät sosiaalisessa hyväksyttävyydessä, jossa peitto arvioitiin heikoimmaksi vaihtoehdoksi kuin kaksi muuta johtuen siitä, että menetelmässä maaperään jätetään haitta-aineita.

5.3.3 Kvantitatiivisen analyysin tulokset

Saha-alueen GoldSET-ohjelman laskennalliset tulokset sisältävät muun muassa laskurilla lasketut kasvihuonekaasupäästöt ja energiankulutukset sekä jätteiden määrät, työn keston ja kustannukset (taulukko 15). Poltossa on merkittävästi suurempi energian kulutus sekä syntyi huomattavasti enemmän kasvihuonekaasupäästöjä kuin massanvaihdossa tai massanvaihdossa ja peitossa.

poltto on myös kallein vaihtoehto. Maaperän peittämisessä syntyneen jätteen määrä on vähäisin.

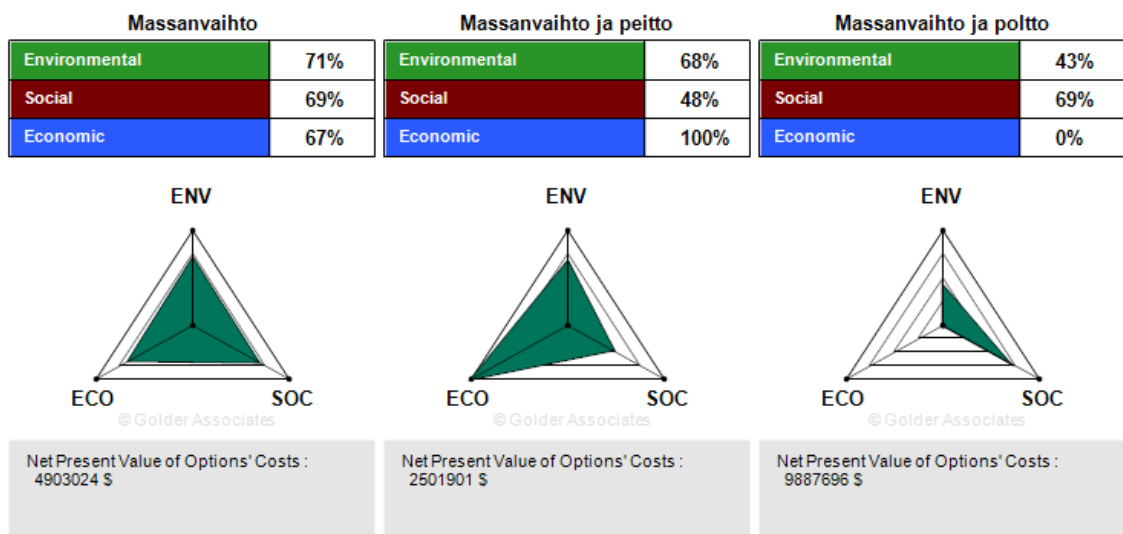
Taulukko 15. PIRRE-saha-kohteen GoldSET-ohjelmalla suoritettun kvantitatiivisen arvioinnin tulokset

Indikaattori	Yksikkö	Massanvaihto	Massanvaihto ja peitto	Massanvaihto ja poltto
Kasvihuonekaasupäästöt	t CO ₂ -e	566	358	25 300
Energian kulutus	GJ PFE	8 160	5 157	364 665
Jätteen määrä	tonni	68 000	0	0
Vaarallisen jätteen määrä	tonni	17 000	17 000	85 000
Maaperän määrä, josta haitta-aineet on poistettu	tonni	85 000	17 000	85 000
Työn kesto	vuosi	1	1	1
Kustannukset	euro	4 903 024	2 501 901	9 887 696

5.3.4 Kestävyyssarvioinnin tulokset ja tulosten tarkastelu

Saha-alueen GoldSET-analyysin tuloksissa huomattiin merkittäviä eroja eri kunnostusvaihtoehtojen välillä (kuva 16). Yksikään vaihtoehtoista ei ole vahvin jokaisella osa-alueella.

Ympäristötekijöissä polton heikompi tulos muihin menetelmiin verrattuna selittyy poltossa syntyvistä päästöistä, suuresta energiankulutuksesta sekä muodostuvan vaarallisen jätteen suuresta määrästä. Massanvaihto ja massanvaihto + peitto olivat ympäristövaikutuksiltaan samaa suuruusluokkaa.



Kuva 16. PIRRE-saha-kohteen GoldSET-ohjelmalla suoritetun kestävyysarvioinnin kokonaistulokset

Sosiaalisissa vaikutuksissa maaperän peittämisen heikompi sosiaalinen hyväksyttävyyys vaikutti merkittävästi tulokseen. Peittämisessä maaperän jätetään myrkyllisiä dioksiineja ja furaaneja. Maaperän peittämisen toteuttamiselle voi olla myös haastavampi saada lupaa, kun maaperään on tarkoitus jättää haitta-aineita. Nämä seikat vaikuttavat peittämisen sosiaalisiin vaikutuksiin. Massanvaihto ja poltto ovat sosiaalisilta vaikutuksiltaan vastaavat, sillä molemmissa menetelmissä kuljetettiin pois alueelta yhtä suuret määrät maa-aineksia mikä tarkoittaa, että kunnostustoiminta oli teknisesti samankaltaista.

Poltossa on selvästi korkeimmat kustannukset. Poltettavaksi vietävien maa-ainesten vastaanottomaksut ovat korkeampia kuin kaatopaikalle sijoitettavien massojen kaatopaikkamaksut. Edullisin vaihtoehto on maaperän peittäminen, joka massanvaihtoon verrattuna sisälsi vähemmän kuljetuksista aiheutuvia kustannuksia. Peittämisessä ei myöskään muodostu lainkaan pilaantuneen maa-aineksen vastaanotosta aiheutuvia kustannuksia. Teknisten vaikutusten osalta menetelmille ei saatu eroja aikaan, koska kaikki tarkastellut menetelmät olivat yleisesti käytössä olevia ja teknisesti varmoja.

5.4 Kauppapuutarhakohteen GoldSET-ohjelman kestävyysarviointi

5.4.1 Valitut indikaattorit ja niiden painokertoimet

Kauppapuutarha on pieni kohde, jossa jokainen kunnostusmenetelmistä on yksinkertaisesti toteutettavissa. Kohteen pienen koon vuoksi huomioon otettavien indikaattorien määrä oli suhteellisen vähäinen. Indikaattorit painotuksineen on esitetty taulukossa 16. Kohteessa painotettiin sosiaalisia näkökohtia ja kiertotalouden edistämistä kestäväällä jätteen käsittelyllä. Ympäristöindikaattoreista painotettiin jätteen käsittelyä siinä määrin, että kohteen osalta oli tärkeää, että kuljetuksia olisi mahdollisimman vähän asuinalueiden läpi.

Taulukko 16. Kauppapuutarhan GoldSET-työkalulla tehdyssä kestävyysarvioinnissa käytetyt indikaattorit ja niiden painotukset

Ympäristö		Sosiaaliset vaikutukset		Taloudelliset vaikutukset	
Kunnostetun maaperän määrä*	1	Työn kesto*	1	Muodostuvat kustannukset*	1
Kasvihuonekaasupäästöt*	1	Alueen asukkaiden näkemykset	3		
Päästöt ilmaan	1	Alueen käyttö	1		
Energiankulutus*	1	Yleinen terveys ja turvallisuus	1		
Jätteen määrä*	1				
Jätteen käsittely	2				

(* osoittaa laskennalliset indikaattorit)

Kohde sijaitsee pientaloalueella, jonka lähistöllä on suhteellisen paljon asukkaita, joten sosiaaliset vaikutukset olivat merkittävässä roolissa. Yhteisön sosiaalisten näkemysten lisäksi huomioitiin työn kesto, alueen käyttö sekä alueen yleinen terveys ja turvallisuus. Kustannuksista huomioitiin ainoastaan kunnostusmenetelmien kokonaiskustannukset. Kaikissa menetelmävaihtoehdoissa tekninen toteutus oli niin yksinkertainen, ettei teknisiä vaikutuksia huomioitu. Kaikissa menetelmissä oli

samankaltainen tekniikka, johon kuului kaivu tai levitys kaivinkoneella ja massojen kuljetus.

5.4.2 Kvalitatiivisen analyysin tulokset

Kauppapuutarhan kvalitatiivinen analyysi suoritettiin arvioimalla kohteelle valittuja laadullisia indikaattoreita. Tulokset on esitetty liitteessä 6 taulukoissa 1, 2 ja 3. Ympäristövaikutusten osalta arvioitiin päästöjä ilmaan sekä jätteen käsittelyä. Molemmissa indikaattoreissa parhaaksi vaihtoehdoksi nousi maan peittäminen. Peitossa ei synny jätettä ja ilmanpäästöt ovat pienemmät kuin kahdessa muussa vaihtoehdossa.

Sosiaalisissa vaikutuksissa arvioitiin laadullisesti sosiaalista hyväksyttävyyttä, alueen käyttöä kunnostuksen aikana sekä yleisestä terveyttä ja turvallisuutta. Massanvaihdon arviointiin olevan sosiaalisesti hyväksyttävin. Massanvaihdossa alueen käyttö kunnostuksen aikana on rajoitetuin. Kunnostuksen aikaisen yleisen terveyden ja turvallisuuden arvioitiin olevan parempi maan peitossa kuin massanvaihdossa ja yhdistelmävaihtoehdossa johtuen vähäisemmästä pilaantuneiden maa-ainesten kuljetusten määrästä.

5.4.3 Kvantitatiivisen analyysin tulokset

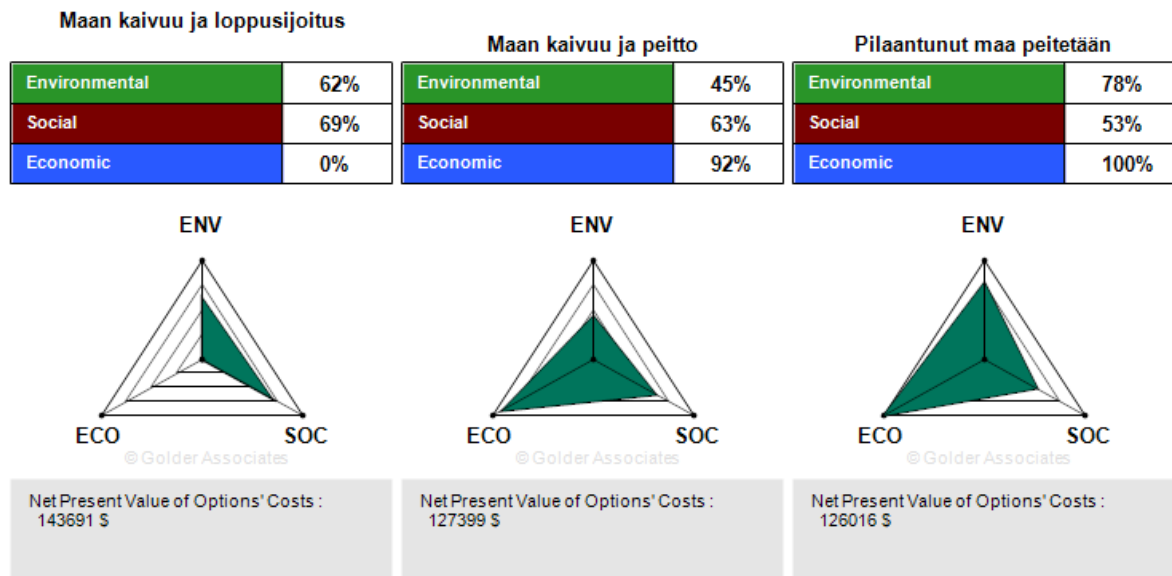
Kauppapuutarha – kohteessa verrattiin pilaantuneen maa-alueen peittämistä ja massan kaivua sekä yhdistelmävaihtoehtoa (kaivu + peittäminen). Laskennallisten indikaattorien perustella menetelmillä ei ole suuria eroja (taulukko 17). Jätteen määrä on suurin massan kaivussa ja loppusijoituksessa. Kaivussa myös maaperän määrä, josta haitta-aineet poistettiin kokonaan, on suurin. Muiden indikaattorien osalta kaikissa kolmessa vaihtoehdossa tulokset ovat samaa suuruusluokkaa.

Taulukko 17. PIRRE- kauppapuutarhakohteen GoldSET-ohjelmalla suoritettun kvantitatiivisen analyysin tulokset

Indikaattori	Yksikkö	Maan kaivu ja loppusijoitus	Maan kaivu ja peitto	Peitto
Kasvihuonekaasupäästöt	t CO ₂ -e	17.99	18.28	18.07
Energian kulutus	GJ PFE	259.3	263.5	260.4
Jätteen määrä	tonni	2423	638	0
Maaperän määrä, josta haitta-aineet on poistettu	tonni	2423	638	0
Työn kesto	vuosi	0.5	0.5	0.5
Kustannukset	euro	143 691	127 399	126 016

5.4.4 Kestävyyssarvioinnin tulokset ja tulosten tarkastelu

Kauppapuutarhan kunnostusvaihtoehtojen GoldSET-työkalulla tehdyn kestäväysarvioinnin tulokset on esitetty kuvassa 17. Kuvasta huomataan, että vaikutukset painottuvat eri kunnostusmenetelmissä eri osa-alueille. Ympäristövaikutuksissa parhaimman tuloksen saavutti pilaantuneen maa peittäminen johtuen siitä, että syntyneen jätteen määrä on pienempi verrattuna muihin vaihtoehtoihin.



Kuva 17. PIRRE-kauppapuutarhakohteen GoldSET-kestävyysarvioinnin kokonaistulokset kolmelle kestävyysosatekijälle

Sosiaalisissa vaikutuksissa tulokset kaikille kolmelle kunnostusvaihtoehdolle ovat saman suuruisia. Hieman heikompi tulos maan peiton osalta selittyy sosiaalisella hyväksyttävyydellä. Haitta-aineiden jättäminen maaperään ei välttämättä ole esimerkiksi alueelle muuttavien henkilöiden mielestä hyväksyttävää.

Kustannusten osalta edullisin vaihtoehto on maaperän peittäminen. Skaalaus kuitenkin vääristää tuloksia, sillä kustannuserot eri menetelmien välillä ovat suhteellisen pienet. Teknistä osa-aluetta ei huomioitu.

6. Tutkimustulosten tarkastelu

6.1 Työkalujen soveltuvuus ja kehitystarpeet

Työn kokeellisessa osassa suoritettiin kestävyysarvioinnit erilaisille pilaantuneiden maa-alueiden kunnostushankkeille. Arviointeja tehtäessä huomattiin, että työkalujen soveltuvuuksissa on eroja, ja että molemmissa työkaluissa on kehitystarpeita.

Molemmat työkalut sisältävät laajoja laskennallisia analyysejä. Koettiin, että monimutkaisten työkalujen käytöllä ei välttämättä saavuteta pienissä kohteissa merkittäviä hyötyjä suhteessa arviointien vaatimaan työmäärään. Arvioinneilla ei välttämättä saada uutta tietoa kunnostusten suunnittelijoille. Hieman kehitettyinä ohjelmat voisivat kuitenkin soveltua suuriin haastavampiin kohteisiin, joissa esimerkiksi kokeillaan uusia kunnostusmenetelmiä. Tällöin voidaan muun muassa saada menetelmistä uutta vertailukelpoista tietoa muun muassa niiden energiankulutuksista, kasvihuonekaasupäästöistä, kustannuksista ja teknisistä tekijöistä.

6.1.1 GoldSET-työkalun kehitystarpeet ja muokattavuus

Arviointien perusteella GoldSET – työkalu soveltuu parhaiten kohteisiin, joissa on useita realistisia kunnostusvaihtoehtoja. Ohjelmalla on haastava arvioida kunnostusmenetelmiä, joista ei olla varmoja, saavuttavatko ne asetetut kunnostustavoitteet. Ohjelma ei arvioi kunnostuksella saavutettavia riskien vähenemisiä.

GoldSET-ohjelman kvantitatiivisessa osassa syötettävien tietojen määrä on suuri etenkin hiilijalanjälkilaskurissa. Tämä vaatii käyttäjältä asiantuntemusta vertailtavista menetelmistä. Nämä tiedot kunnostusmenetelmistä ovat usein tiedossa vain kunnostusten suunnittelijoilla.

Työkalussa on suuri määrä kvalitatiivisia indikaattoreita, joissa käyttäjä pisteyttää vertailtavia menetelmiä. Analyysi perustuu täten käyttäjän omaan harkintaan. Pisteytykset tulisi tehdä yhdessä kunnostushankkeen eri sidosryhmien edustajien

kanssa. On tärkeää, että arvioinneissa kuullaan suunnittelijoiden ja viranomaisten lisäksi myös muita kunnostushankkeeseen osallistuvia ja kunnostettavan alueen vaikutuspiirissä olevia tahoja.

Laadullisten indikaattorien arvioinnissa kohdattiin haasteita indikaattorien tulkinnassa. Käytettyjen valmiiden indikaattorien kuvaukset eivät olleet aina yksiselitteisiä esimerkiksi siltä osin, tarkoitettiinko kunnostusten aikaisia vai kunnostusten jälkeisiä vaikutuksia. Tämän vuoksi on myös tärkeää dokumentoida indikaattorien pisteytykseen johtaneet perustelut ja valinnat. GoldSET-työkalussa dokumentointi onnistuu kestävyysarviointia tehdessä ja tulokset voi tulostaa ohjelmasta esimerkiksi Word-muotoon.

GoldSET-ohjelmaan tulisi sisällyttää herkkyystarkastelu, jonka avulla voidaan arvioida eri indikaattorien ja niiden painotusten vaikutuksia lopputulokseen. Olisi tärkeää tietää mikä on painotuksen vaikutus indikaattorin lopulliseen arvoon ja lopputulokseen. Tarkastelun voisi suorittaa esimerkiksi statististen menetelmien avulla.

GoldSET-ohjelman muokattavuus perustuu mahdollisuuteen muokata indikaattoreita. Valmiissa laskennallisissa indikaattoreissa voidaan muokata mm. yksiköitä, laskentatapaa ja laadullisissa indikaattoreissa taas esimerkiksi pisteytyksiä. Lisäksi voi ohjelmassa luoda kokonaan uusia indikaattoreita. Ohjelma on helposti muokattavissa erilaisille kunnostusmenetelmille, sillä ohjelmassa ei ole valmiina kunnostusmenetelmiä vaan ne luodaan itse. Ohjelman perusrunkoa ja lopputulosten laskentaa ei voi muokata. Lisäksi hiilijalanjälkilaskurin käyttämää dataa on haastava päivittää.

6.1.2 PIRTU – työkalun kehitystarpeet ja muokattavuus

PIRTU - ohjelmassa lähestymistapa kestävyysarviointiin on hieman erilainen kuin GoldSET – ohjelmassa. PIRTU sisältää pääosin kvantitatiivista laskentaa. Ainoastaan sosiaalisia vaikutuksia arvioidaan laadullisesti. Ympäristövaikutusten laskenta suoritetaan samoilla elinkaaritarkasteluun perustuvilla menetelmillä, kuin GoldSET –

ohjelmassa. PIRTU-työkalu sisältää valmiiksi tietoja kunnostusmenetelmistä esimerkiksi päästöjen laskentaan. Osa tiedoista olisi kuitenkin tarpeen päivittää sekä lisätä uusien kunnostusmenetelmien tietoja.

Riskien vähenemän laskemisessa oli huoltoasemakohteen osalta haasteita. Haasteena oli etenkin se, että kunnostuksen jälkeinen tila tunnetaan harvoin tarkkaan jo arviointivaiheessa. Esimerkiksi ekologisia riskejä määritettäessä on arvioitava haitta-aineiden pitoisuudet maaperässä kunnostuksen jälkeen. Jos jokaiselle menetelmälle oletetaan haitta-aineiden pitoisuuksille asetetut tavoitteet (ohjearvo), vaikuttaa riskien vähenemään ainoastaan kunnostuksen kesto. Suuri riskin vähenemä on työkalussa positiivinen vaikutus. Joskus kunnostuksia suunniteltaessa kuitenkin riittää, että saavutetaan asetettu tavoitetaso. Riskin vähenemän maksimointi saattaa tällöin esimerkiksi johtaa liiallisiin kunnostustoimenpiteisiin.

PIRTU - menetelmä on Excel pohjainen työkalu mikä osaltaan helpotti sen käytettävyyttä, jos oli käyttänyt Exceliä aikaisemmin. Työkaluun pystyy mahdollisesti liittämään muita ohjelmia, kuten esimerkiksi statistisia työkaluja (esim. @Risk, CrystalBall). PIRTU-ohjelmassa koodi on Excelissä käyttäjälle näkyvissä, joten laskujen kulkua on helpompi seurata. Ohjelma on yksiselitteinen ja kaikki käytetyt tiedot ovat esillä käyttäjälle. Toisaalta ohjelman käytettävyys Excel-taulukkona on hieman sekava. Välilehtiä on useita ja liikkuminen välilehdeltä toiselle saattaa toisinaan olla hieman haastavaa.

PIRTU-laskentatyökalun helppo muokattavuus perustuu Excel-taulukko työkalun yksinkertaiseen muokattavuuteen. Käytettävää dataa voi helposti päivittää taulukon soluihin. Työkalussa on valmiina joitain kunnostusmenetelmiä ja niiden tietoja. Lisäksi työkaluun on suhteellisen helppo lisätä uusia kunnostusmenetelmiä, jos niiden ympäristövaikutukset, kuten energiankulutus ja ilmanpäästöt ovat tiedossa.

6.2 Työkalujen luotettavuus, mahdolliset virhelähteet ja rajaukset

Tutkituilla laskentatyökaluilla voidaan verrata eri kunnostusmenetelmiä ja niiden kestävyyttä. Tuloksia voidaan hyödyntää kunnostusmenetelmien valinnassa. Tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava, että ne perustuvat kunnostusvaihtoehtojen teknisten tietojen ja asiantuntijakyselyiden perusteella tehtyihin arvioihin. Arvioiden epävarmuudet voivat olla suuria. Työkalut eivät sovellu absoluuttisten kvantitatiivisten tulosten tarkasteluun.

Virhearvioita on saattanut kestävyysarvioinneissa tapahtua muun muassa indikaattorien tulkinnoissa, kunnostusmenetelmien teknisissä arvioissa sekä työkalujen käytössä. Mahdolliset virhearviot voidaan kuitenkin olettaa yksittäisiksi, jolloin niiden merkitys analyysien lopputulokseen on vähäinen.

Molemmissa työkaluissa tehtiin rajauksia ympäristövaikutusten elinkaaritarkastelussa. Päästölaskennassa rajoituttiin kunnostuksen aikaiseen toimintaan. Tällöin laskennassa ei huomioitu ennen kunnostuksia tehtäviä analyysijä eikä mahdollisia seurantatoimia kunnostuksen jälkeen. Lisäksi laskennassa ei huomioitu välillisiä vaikutuksia, kuten esimerkiksi polttoaineiden valmistuksesta ja jalostuksesta syntyviä ja laitteistojen ja kuljetusvälineiden valmistuksesta syntyviä päästöjä eikä myöskään. Maa-ainesten loppusijoituksesta kaatopaikalle aiheutuvia päästöjä. Oletettiin, että maa-aineksia käytettiin kaatopaikkojen täytemaina, jolloin päästöt olisivat pienet. Kustannuksissa rajoituttiin tarkastelemaan ainoastaan menetelmien suoria kustannuksia.

Työssä arviointityökaluja testattiin jo kunnostetussa huoltoasemakohteessa sekä jo PIRTU-ohjelmalla arvioituihin kohteisiin. Tällöin kvantitatiivisen tiedon keruu ja kunnostusmenetelmien arviointi oli suhteellisen yksinkertaista. Työkalut on kuitenkin tarkoitettu käytettäväksi kunnostuksen suunnitteluvaiheessa, jolloin kaikkea tarvittavaa tietoa ei välttämättä vielä ole saatavilla. Tällöin arviointien suorittaminen voi olla haastavampaa ja tulokset epävarmempia.

7. Johtopäätökset ja kestävyysarvioinnin tulevaisuuden näkymät

Kestävyysarviointiin käytettäviä työkaluja on kehitetty yksinkertaisista pisteytysmenetelmistä monimutkaisiin monikriteerianalyysihin. Työkaluilla voidaan vertailla eri kunnostusmenetelmiä sekä tunnistaa hankkeen kannalta merkittävimmät vaikutukset. Tärkeässä osassa on koko arviointiprosessi ja saadut perustellut tulokset. Tuloksia voidaan hyödyntää valintojen perusteluun päätöksenteossa kunnostuksen suunnitteluvaiheessa.

Toistaiseksi kestävyysarvioinnin työkaluja on saatavilla vain rajoitetusti, sillä suurin osa niistä on kehitetty tutkimuskäyttöön. Ei ole tietoa, käytetäänkö työkaluja tutkimuslaitosten ulkopuolella esimerkiksi suunnittelijoiden ja viranomaisten toimesta. Kestävyysarvioinnin kehittämiseksi olisi tärkeää saada kaikille yleisesti saatavilla olevia työkaluja, jotka soveltuvat erilaisille hankkeille. Työssä testatut ohjelmat vaatisivat vielä kehittämistä, jotta ne soveltuisivat yleiseen käyttöön ajatellen Suomen olosuhteita.

Suomessa suurin osa kohteista on suhteellisen pieniä ja yksinkertaisia, joihin soveltuisivat yksinkertaisemmat menetelmät ja työkalut. Laajalla kestävyysarvioinnilla ei välttämättä saavuteta merkittäviä hyötyjä suhteessa arvioinnin työmäärään. Usein kohteissa ei ole myöskään suurta määrää realistisia kunnostusvaihtoehtoja. Ympäristöministeriön ”Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta” – ohjeessa on esitetty suosituksia kestävään riskinhallintaan. Suositusten pohjalta muodostettiin päätösmalli (liite 7), joka toimi esimerkkinä yksinkertaisemmasta menetelmästä arvioida kestävyyttä. Mallin avulla voidaan käydä läpi kestävä kunnostuksen keskeisimmät tekijät. Kestävyysarvioinnissa käytettävät työkalut tulisi olla linjassa ympäristöhallinnon pilaantuneiden maa-alueiden riskinhallintastrategian sekä edellä mainittujen suositusten kanssa.

PIRISTE-hankkeessa järjestetyssä työpajassa pohdittiin kestävyysarviointia kunnostushankkeiden eri sidosryhmien näkökulmista. Työpajaan osallistui eri sidosryhmien edustajia, kuten kunnostusten suunnittelijoita ja tilaajia sekä hallinnon

ja viranomaisten edustajia. Osallistujien mukaan merkittävämät puutteet kestävyysarvioinneissa ovat niiden heikossa dokumentoinnissa. Suullisia asiantuntija-arviointeja ei dokumentoida ja kirjalliset arviot saattavat olla puutteellisia. Yksinkertaisten työkalujen avulla kunnostushankkeeseen liittyvät vaikutukset voitaisiin käydä läpi systemaattisesti. Tällöin myös dokumentointi olisi yksiselitteistä ja läpinäkyvää.

Työpajassa pohdittiin yksittäisten kohteiden kestävyysarviointien lisäksi alueellista kestävyttä. Alueellisella maankäytön kestävällä suunnittelulla ja rakentamisella voidaan vaikuttaa merkittävästi kestävyden toteutumiseen pilaantuneiden maa-alueiden riskinhallinnassa. Toimenpiteitä kestävyden edistämiseen ovat muun muassa pilaantuneisuuden huomioiminen kaavoituksessa ja pilaavien toimintojen sijoittaminen jo ennestään pilaantuneille alueille luonnontilaisten alueiden sijaan. Alueellisella tasolla kestävyysarviointia voidaan siis tehdä maankäytön muutoksen ja suunnittelun yhteydessä muun muassa kaavoitusvaiheessa. Työkalut ja mallit voivat olla myös tarpeen alueellisessa maankäytön suunnittelussa.

Alueellista kestävyysarviointia voidaan tehdä myös esimerkiksi tarkastelemalla alueen massataseita. Maa-ainesten hyötykäyttö tulee tulevaisuudessa muuttumaan, kun kierrätyskelpoisen jätteen kaatopaikkasijoittamista tullaan rajoittamaan. Tällöin kestävyysarviointit tulevat tarpeeseen myös maa-ainesten hyötykäyttöä suunniteltaessa.

Pilaantuneiden maa-alueiden kestävä riskinhallinta on monen tekijän summa. Siihen kuuluvat niin alueelliset ratkaisut kuin ratkaisut yksittäisissä hankkeissa. Jotta kestävyttä riskinhallinnassa voidaan edistää, täytyy muutosta tapahtua koko toimintasektorilla. Kestävyysarviointit voivat mahdollistaa systemaattisen tavan, jolla otetaan kaikki kestävyteen vaikuttavat tekijät huomioon. Tämän lisäksi muutostarpeisiin tulisi vastata taloudellisten ja hallinnollisten ohjauskeinojen käyttöönotolla ja tehostamisella sekä kunnostusmenetelmien tutkimuksella, koulutuksella ja selkeällä viestinnällä kestävästä riskinhallinnasta.

8. Lähdeluettelo

Anonyymi, Greener Cleanups: How to Maximize the Environment and Benefits of Site Remediation, <http://www.epa.state.il.us/land/greener-cleanups/matrix.pdf>, 3.6.2016.

Antikainen, R. ja Sorvari, J. 2004. Saha-alueen kuvaus. Suomen ympäristökeskus, PIRRE-hanke. Julkaisematon.

Antikainen, R. ja Sorvari, J. 2005a. Ampumaradan kuvaus. Suomen ympäristökeskus, PIRRE-hanke. Julkaisematon.

Antikainen, R. ja Sorvari, J. 2005b. Kauppapuutarhan kuvaus. Suomen ympäristökeskus, PIRRE-hanke. Julkaisematon.

Bardos, P., Bone, B., Boyle, R., Ellis, D., Evans, F., Harries, N., Smith, J., Applying Sustainable Development Principles to Contaminated Land Management Using the SuRF-UK Framework, *Remediation*. **21** (2) (2011) 77-100.

Bardos, P., Lazar, A., Willenbrock, N., A review of Published Sustainability Indicator Sets: How applicable are they to contaminated land remediation indicator-set development? (2009).

Batelle, U.S. Navy, U.S. Army Corps of engineering, *Site Wise Version 3 User Guide*, 2013.

Beames, A., Broekx, S., Lookman, R., Touchant, K., Seuntjens, P., Sustainability appraisal tool for soil and groundwater remediation: How is the choice of remediation alternative influenced by different set of sustainability indicators and tool structures?, *Science of the Total Environment*. (2014) 954-966.

Boardman, A., Greenberg, D., Vining, A., Weimer, D., *Cost-Benefit Analysis: Concepts and Practice*, Pearson, 2014.

Butler, P., Larsen-Hallock, L., Lewis, R., Glenn, C., Armstead, R., Metrics for Integrating Sustainability Evaluations Into Remediation Projects, *US Sustainable Remediation Forum*, 2011.

Cappuyns, V., Environmental impacts of soil remediation activities: quantitative and qualitative tools applied on three case studies. *Journal of Cleaner Production*. **52** (2013) 145-154.

Carlou, C., Critto, A., Ramieri, E., Marcomini, A., DESYRE: Decision Support System for the Rehabilitation of Contaminated Megasites. *Integrated Environmental Assessment and Management*. **3** (2) (2007). 211-222.

CLAIRE, Defra Research Project Final Report, 2010.

Čuček, L., Klemeš, J., Kravanja, Z., A review of Footprint analysis tools for monitoring impacts on sustainability. *Journal of Cleaner Production*. **34** (2012) 9-20.

Department for Communities and Local Government, *Multi-criteria analysis: a manual*, 2009.

Department of Toxic Substances Control, *Interim Advisory for Green Remediation*, 2009.

EPA, *Methodology for Understanding and Reducing a Project's Environmental Footprint*, 2012.

FCG, JASKA-kohteen loppuraportti, 2015, julkaisematon.

Galli, A., Wiedmann, T., Ercin, E., Knoblauch, D., Ewing, B., Giljum, S., Integrating Ecological, Carbon and Water footprint into a "Footprint Family" of indicators: Definition and role in tracking human pressure on the planet, *Ecological Indicators*. **16** (2012) 100-112.

Golder Associates, GoldSET methodology,
<https://golder.goldset.com/portal/methodology.aspx>, 01.08.2016.

Harclerode, M., Ridsdale, D., Darmendrail, D., Bardos, P., Alexanderscu, F., Nathanail, P., Pizzol, L., Rizzo, E., Integrating the Social Dimension in Remediation Decision-Making: State of the Practice and Way Forward., *Remediation*. **26** (1) (2015) 11-42.

Harclerode, M., Lal, P., Miller, M., Quantifying Global Impacts to Society from the Consumption of Natural Resources during Environmental Remediation Activities, *Journal of Industrial Ecology*. **20** (3) (2015) 410-422.

Hoekstra, A., Human appropriation of natural capital: A comparison of ecological and water footprint analysis, *Ecological Economics*. **68** (7) (2009) 1963-1974.

Holland, K., Lewis, R., Tipton, K., Karnis, S., Dona, C., Petrovskis, E., Bull, L., Taege, D., Hook, C. Supplement to Framework for Integrating Sustainability onto Remediation Projects. *US Sustainable Remediation Forum*, 2011.

ISO 14040, Environmental Management - Life cycle Assessment – Principles, *International Organization for Standardization*, 2006.

ISO 14041, Environmental Management- Life Cycle Assessment - Goal and Scope Definition and Inventory Analysis, *International Organization for Standardization*, 1998.

ISO 14042, Environmental Management – Life Cycle Assessment – Life Cycle Impact Assessment, *International Organization for Standardization*, 2000.

ISO 14043, Environmental Management – Life Cycle Assessment – Life Cycle Interpretation, *International Organization for Standardization*, 2000.

ISO 18504, Soil quality - Guidance on sustainable remediation, *International Organization for Standardization*, 2015.

Lavee, D., Ash, T., Baniad, G., Cost-Benefit analysis of soil remediation in Israeli industrial zones, *Natural Resources Forum*. **36** (2012) 285-299.

Lundén, P. Helsingin kaupungin pilaantuneiden maa-alueiden riskinhallinnan ekotehokkuus, *Suomen ympäristökeskuksen raportteja*. **30** (2008).

Maco, B., Bell, D., Gill, M., Scheuermann, K., Jurena, P., Madabhushi, S., Sutton, D., Snow, M., Ball, H., McCrink, M., Pachon, C., Green and Sustainable Remediation Strategies: Environmental Footprint Pilot Study, *U.S. Air Force & U.S. Environmental Agency Region 9*, 2013.

Marttinen, M., Mustajoki, J., Verta, O., Hämäläinen, R., Monitavoitearviointi vuorovaikutteisessa ympäristösuunnittelussa, Menetelmä ja sen soveltamisesimerkkejä vesistön käytössä ja hoidossa, *Suomen ympäristö*. **11** (2008).

Morais, S., Delerue-Matos, C., A perspective on LCA application in site remediation services: Critical review of challenges, *Journal of Hazardous Materials*. **175** (1-3) (2010) 12-22.

NICOLE, How to implement sustainable remediation in a contaminated land management project?, *Nicole sustainable remediation work group 2012 report*, 2012.

Onwubuya, K., Cundy, A., Puschenreiter, M., Kumpiene, J., Bone, B., Greaves, J., Teasdale, P., Mench, M., Tlustos, P., Mikhalovsky, S., Waite, S., Friesl-Hanl, W., Marschner, B., Müller, I., Developing decision support tools for the selection of "gentle" remediation approaches, *Science of the Total Environment*. **407** (24) (2009) 6132-6142.

Praamsta, T., Carbon Footprint on soil remediation, *Green Remediation Conference, Copenhagen*, 2009.

Pyy, O., Haavisto, T., Niskala, K., Silvola, M., Pilaantuneet maa-alueet Suomessa, katsaus 2013, *Suomen ympäristökeskuksen raportteja*. **27** (2013).

Rosén, L., Back, P., Söderqvist, T., Norrman, J., Brinkhoff, P., Norberg, T., Volchko, Y., Norin, M., Bergknut, M., Döberl, G., SCORE: A novel multi-criteria decision analysis approach to assessing the sustainability of contaminated land remediation, *Science of the Total Environment*. **511** (2015) 621-638.

Smith, J. ja Kerrison, G., Benchmarking of Decision-Support Tools Used for Tiered Sustainable Remediation Appraisal. *Water, Air & Soil Pollution*. **224** (2013) 1706.

Sorvari, J., Antikainen, R., Kosola, M., Jaakkonen, S., Nerg, N., Vänskä, M., Pyy, O. Pilaantuneiden maa-alueiden riskinhallinnan ekotehokkuus. *Suomen ympäristö*. **33** (2009).

Sorvari, J. ja Seppälä, J., A decision support tool to prioritize risk management options for contaminated sites. *Science of The Total Environment*. **408** (8) (2010) 1786-1799.

Suomen kestävän kehityksen toimikunta, Kohti kestäviä valintoja. Kansallisesti ja globaalisti kestävä Suomi.

Suomen ympäristökeskus, http://www.syke.fi/fi-fi/Tutkimus__kehittaminen/Tutkimus_ja_kehittamishankkeet/Hankkeet/Pilaantuneen_maaperan_ja_pohjaveden_riskinhallintaratkaisujen_ekotehokkuus_PIRRE_PIRRE2/PIRTUekotehokkuuslaskentatyokalu, 2013.

Söderqvist, T., Brinkhoff, P., Norberg, T., Rosén, L., Back, P., Norrman, J., Cost-benefit analysis as part of sustainability assessment of remediation alternatives for contaminated land, *Journal of Environmental Management*. **157** (2015) 267-278.

Valtioneuvosto, Valtioneuvoston asetus VNa 214/2007 maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista, 2007.

Volchko, Y., Norrman, J., Rosén, L., Bergknut, M., Josefsson, S., Söderqvist, T., Norberg, T., Wiberg, K., Tyskling, M., Using soil function as evaluation in multi-criteria decision analysis for sustainability appraisal of remediation alternatives, *Science of the Total Environment*. **485-486** (2014) 785-791.

Yhdistyneet kansakunnat, *Report of the World Commission on Environment and Development*, 1987.

Ympäristöministeriö, Pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta, *Ympäristöhallinnon ohjeita*. **6** (2014).

Ympäristöministeriö, Valtakunnallinen pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallintastrategia, *Suomen ympäristö*. **10** (2015).

Kvalitatiiviset kestävyiden arviointiin kehitetyt työkalut

Taulukko 1. Kuvaukset kvalitatiiviseen arviointiin kehitetyistä työkaluista

Menetelmän nimi	Menetelmän periaate	Menetelmän kuvaus	Kestävyyden osatekijät			Lähde
			Ympäristö	Sosiaaliset	Taloudelliset	
SiteWise <i>Batelle, U.S. Navy, U.S. Army Corps of engineering</i>	Jalanjälki-analyysi	SiteWise on Excel pohjainen ohjelma, joka on suunniteltu ympäristöjalanjäljen laskemiseen yleisimmille kunnostusvaihtoehdoille. Se tuottaa yksityiskohtaisen analyysin laskennallisista indikaattoreista; kasvihuonekaasut, energian käyttö, ilmapäästöt, veden käyttö, luonnonvarojen käyttö sekä onnettomuusriskit. SiteWise-ohjelma koostuu eri rakennusosista, kuten hankkeen eri vaiheista tai eri kunnostusmenetelmien komponenteista. Jokaiselle osalle lasketaan erikseen ekologinen jalanjälki. Lopuksi eri osien ekologiset jalanjäljet yhdistetään, jolloin saadaan määritettyä koko hankkeen ekologinen jalanjälki.	x	x	-	(Batelle et al., 2013)
CO2 calculator <i>Alankomaat</i>	Hiilinjalanjälki	CO ₂ calculator -ohjelma laskee eri vaihtoehtoisten kunnostusmenetelmien hiilidioksidiekvivalentteja. Ohjelma ottaa huomioon hiilidioksidipäästöt koko kunnostusmenetelmän elinkaaren ajalta. Menetelmä perustuu energian käyttöön ja materiaalien käyttöön, jotka ovat kaikki ilmaistavissa hiilidioksidiekvivalentteina. Ohjelma tekee tarvittavat laskut perustuen syöttämiisi tietoihin muun muassa käsiteltävän maaperän ja pohjaveden määrästä, kunnostusmenetelmästä sekä materiaalien ja laitteiden kuljetuksista.	x	-	-	(Beames et al., 2014) ja (Praamsta, 2009)

Spreadsheets for Environmental footprint analysis (SEFA) US EPA	Jalanjälki-analyysi	SEFA on sarja excel-työkirjoja, joiden avulla voidaan suorittaa ympäristöjalanjälkien määrittäminen yhdysvaltain ympäristösuojeluviraston (EPA) metodologian mukaisesti. SEFA-työkalua voidaan käyttää kunnostushankkeen eri vaiheissa, sisältäen kunnostusvaihtoehtojen vertailun, kunnostuksen suunnittelun sekä jo käynnissä olevien kunnostuksien optimoinnin. Työkaluun syötettävät tiedot sisältävät muun muassa materiaalien käytön, veden käytön, jätteenkäsittelyn, kuljetukset sekä käytetyt laitteet.	x	-	-	(EPA, 2012)
SimaPro (Kaupallinen) Alankomaat	Elinkaari-analyysi	SimaPro on kaupallinen ohjelmisto elinkaarianalyysiin tekoon pilaantuneiden maa-alueiden kunnostushankkeille. SimaPro-ohjelma sisältää työkalut elinkaarianalyysin tekemiseen ISO 14040 ja 14044 standardien mukaan. Ohjelma on linkitetty LCA-tietokantoihin, kuten esimerkiksi EcoInvent tietokantaan. SimaProssa on myös ylinmääreisiä tietokantoja, joilla voi muun muassa muuttaa indikaattoreista laskettuja tietoja (esimerkiksi rikkidioksidipäästöt) ympäristövaikutuksiksi (hapettuminen). SimaPron käyttö vaatii ohjelmaan perehtymistä sekä kokemusta elinkaarianalyysien toteuttamisesta.	x	x	x	(Maco et al., 2013)

PIRTU <i>Suomi</i>	Monikriteeri-analyysi (MCDA/MAVT)	PIRTU-työkalu on Suomessa päätöksen teon tueksi kehitetty ekotehokkuus-työkalu, joka noudattaa monikriteerianalyysin periaatteita. Työkalun kehittämisen lähtökohtana käytettiin Hollantilaisen REC-systeemiä, jota muokattiin Suomen oloihin soveltuviksi. Ohjelman teorian pohjalla on Multi-Attribute Value Theory (MAVT). PIRTU-ohjelmassa voidaan verrata kohdekohtaisesti erilaisia kunnostusvaihtoehtoja neljän eri osion avulla. Neljä osiota ovat riskit, ympäristövaikutukset, kustannukset ja muut tekijät. Ohjelman avulla voidaan laskea ns. hyvyysluvut eri kunnostusmenetelmille ja site valita ekotehokkain vaihtoehto. Ohjelma perustuu elinkaariajatteluun ja tarkasteluaikana käytetään 30 vuoden ajanjaksoa.	x	x	x	(Sorvari ja Seppälä, 2010) ja (Lundén, 2008)
GoldSET (Kaupallinen) <i>Golder Associates</i>	Monikriteeri-analyysi	GoldeSET on kaupallinen monikriteerianalyysiin perustuva työkalu, jonka on kehitetty vuonna 2008 Golder Associatesin toimesta. Se on suunniteltu kestävyysarviointiin suuren mittakaavan teknillisiin projekteihin. Työkalu sisältää suuren määrään PIMA-hankkeisiin sopivia kvalitatiivisia ja kvantitatiivisia indikaattoreita sekä mahdollisuuden lisätä, poistaa ja muokata indikaattoreita. GoldeSET-ohjelman käyttämät indikaattorit perustuvat ohjeistuksiin, jotka ovat julkaistu Global Reporting Initiative - ja International Federation of Consulting Engineers - tahojen toimesta. Ohjelmistossa käytettyjä kvalitatiivisia indikaattoreita ovat muun muassa kasvihuonekaasupäästöt, energian kulutus, veden kulutus, jätteiden tuotto, hankkeen kokonaiskustannukset sekä hankkeen kesto. Muut indikaattorit arvioidaan kvalitatiivisesti.	x	x	x	(Beames et al., 2014) ja (Holland et al., 2011)

Sustainable choice of Remediation (SCORE)	Monikriteeri-analyysi	SCORE on monikriteerianalyysiin perustuva excel-pohjainen kestävyys arviointityökalu, joka on kehitetty päätöksenteon tueksi PIMA-hankkeille. Menetelmä vertaa eri kunnostusmenetelmiä asetettuihin referenssi-indikaattoreihin kestävyys eri osatekijöistä ja sitä kautta ehdottaa kestäväintä vaihtoehtoa. Referenssi on käyttäjän asetettavissa ja vastaa yleensä ei toimintaa- vaihtoehtoa. Käyttäjä pystyy myös valitsemaan mitkä indikaattoreista ovat merkittäviä kyseisessä kunnostushankkeessa. Analyysi suoritetaan pisteyttämällä painotettuja indikaattoreita. Sosiaaliset ja ympäristöindikaattorit on painotettu ottaen huomioon niiden suhteellinen merkittävyys. Taloudelliset vaikutukset laskettiin käyttäen kustannushyöty-analyysiä. SCORE-työkalussa on lasketaan epävarmuustekijät käyttäen Monte Carlo analyysiä.	x	x	x	(Rosén et al., 2015)
Sustainable remediation tool (SRT) <i>Air Force Center of Engineering and the Environment</i>	Elinkaari-analyysi	SRT on excel pohjainen työkalu, joka on suunniteltu käytettäväksi kunnostushankkeen suunnitteluun, kunnostusmenetelmien vertailuun kestävyys indikaattorien avulla sekä kunnostushankkeen optimointiin. SRT-työkalu laskee kvantitatiivisia ympäristöindikaattoreita sekä myös sosiaalisia ja taloudellisia indikaattoreita. Ohjelmaan syötettävät tiedot sisältävät muun muassa käsiteltävän maaperän ja pohjaveden tilavuuden, maanalaiset geofyysiset ominaisuudet, maan arvo ennen kunnostusta sekä maankäyttö kunnostuksen jälkeen. SRT:n käyttö rajoittuu yhdeksään kunnostusmenetelmään (maan kaivu, huokosilmäkäsittely, termiset menetelmät, pump & treat, tehostettu biologinen puhdistus, <i>In situ</i> - kemikaalinen hapetus, reaktiivinen seinämä ja luontainen monitoroitu hajoaminen)	x	x	x	(Maco et al, 2013)

Risk Reduction and Environmental Merit and Costs (REC) <i>Netherlands</i>	Monikriteeri-analyysi (MCDA/MAVT) elinkaari-analyysi	REC - ohjelma koostuu kolmesta eri työkalusta; riskienhallinta moduulista, ympäristövaikutusmoduulista sekä kustannusten laskemiseen tarkoitettua moduulista. Kaikki osat perustuvat kvantitatiiviseen laskentaan. REC vaatii laajan määrän lähtötietoja riskienhallintamoduuliin sekä kustannusten laskuun. Riskienhallintatyökalu vaatii lisäksi ulkoisen ohjelman riski-indeksien laskuun.	x	x	x	(Cappuyns, 2013)
Desicion support system for rehabilitation of contaminated sites (DESYRE) <i>Italia</i>	Monikriteeri-analyysi (MCDA/AHP)	DESYRE on Italiassa kehitetty päätöksentekoa tukeva työkalu, joka perustuu GIS- ohjelmaan. DESYRE-työkalun tarkoitus on kehittää ja verrata mahdollisia kunnostusskenaarioita suurille alueille (megasites). Työkalussa arvioidaan kunnostushankkeiden kestävyiden keskeisimmät osat, joihin kuuluvat sosiaalisten ja taloudellisten vaikutusten analysointi, kohteen karakterisointi, riskinarviointi, mahdollisten kunnostusmenetelmien vertailu sekä jäännösriskin arviointi. Se ei ainoastaan keskity eri kunnostusmenetelmävaihtoehtoihin vaan ottaa huomioon myös eri maan käytön vaihtoehdot megasite-kohteissa.	x	x	x	(Carlton et al., 2007)
DARTS <i>Italia</i>	Monikriteeri-analyysi	DARTS on italiassa kehitetty ohjelma, joka on tarkoitettu avustamaan kunnostusmenetelmän valinnassa. Ohjelma perustuu analyysiin, joka pohjautuu teknisiin, taloudellisiin, sosiaalisiin ja ympäristökriteereihin. Kriteerit on yhdistetty ja painotettu monikriteerianalyysin perustuvassa menetelmässä. Pääkriteerit ovat perustuvat indikaattoreihin, joita ovat muun muassa kunnostuksen kustannukset, kunnostusvaihtoehdon soveltuvuus, alhaisin saavutettava haitta-ainepitoisuus, kunnostuksen kesto sekä kunnostuksen jälkeinen ylläpito sekä julkinen hyväksyttävyys.	x	x	x	(Onwubuya et al., 2009)

GoldSET-ohjelman indikaattorit sekä niiden kuvaukset

Taulukko 1. Ympäristö osa-alueen indikaattorit ja niiden kuvaukset (Golder Associates, 2016)

Indikaattori	Kuvaus	Pisteytyksen kuvaus
Soil Quality	Efficacy of the option in treating impacted soils and reducing the volume of contaminated soils. This indicator can be evaluated quantitatively if the soil volumes to be rehabilitated are known.	0 = No rehabilitation of impacted soils under applicable criteria expected 33 = Some rehabilitation of impacted soils under applicable criteria expected 66 = Significant rehabilitation of impacted soils under applicable criteria expected 100 = Complete rehabilitation of impacted soils under applicable criteria expected
Impacts on Natural Habitat	Disturbances caused by the option as a qualitative measure of its impact on the surrounding natural habitat. Disturbances include, but are not limited to, soil compaction, erosion of clean soils, deforestation, etc. Only applies if the contaminated area is located within or in the vicinity of a natural habitat. Note that the ecological value of the area may be used to influence the weight of the theme.	0 = Significant potential impact(s): Intrusive techniques and activities will cause major disturbances to the natural habitat and its surroundings. Degraded natural habitat unlikely to recover without assistance within 5 years 33 = Moderate potential impact(s): Intrusive techniques and activities will cause some disturbances to the natural habitat and its surroundings. Degraded natural habitat likely to recover naturally with some assistance within of 5 years or less 66 = Minor potential impact(s): Techniques and activities will cause some disturbances to the natural habitat and its surroundings. Degraded natural habitat likely to recover naturally without assistance within 2-3 years 100 = No potential impact: Non-intrusive techniques and activities without any significant disturbance
Greenhouse Gas (GHG) Emissions	Estimated quantity of GHG emitted by the option, including transportation to and from the site, in CO2 equivalent. A normalized score is derived based on the emission levels of the different options. The option with the highest emission level gets 0.	Lasketaan ohjelmassa olevalla laskentatyökalulla.

Air Contaminant Emissions	Qualitative measure of the level of fugitive and source emissions of air contaminants generated by the option. Includes dust (e.g., airborne transportation of contaminated soils and/or sediments during and after remediation), volatile organic compounds (VOCs), etc.	0 = Significant potential impact(s) on air quality 33 = Moderate potential impact(s) on air quality 66 = Minor potential impact(s) on air quality 100 = No potential impact on air quality
Groundwater Quality	Efficacy of the option in dealing with affected groundwater or potential offsite migration. Not applicable if there is no exceedance in applicable criteria.	0 = No effect on groundwater concentrations expected 33 = Some effect on groundwater concentrations expected or partial containment of the groundwater plume 66 = Significant effect on groundwater concentrations expected or containment of the groundwater plume 100 = Complete rehabilitation of affected groundwater expected
Drinking Water Supply	Efficacy of the option in ensuring that drinking water supplies are protected (potable wells, surface water or aquifers used for municipal water supply) both during and after the rehabilitation. Not applicable if there are no water wells or potential water wells that could be impacted.	0 = Drinking water supply is, and will continue to be impacted (exceedances in parameters, restricted availability) 33 = Drinking water supply is presently impacted, or could be, by implementation of the remedial option (exceedances in parameters, restricted availability) but will likely be rehabilitated through time 66 = Drinking water supply is presently impacted, or could be, by implementation of the remedial option (exceedances in parameters, restricted availability) but will likely be rehabilitated quickly (less than 1 year) 100 = Drinking water supply will be fully rehabilitated and protected during and after the remedial option
Energy Consumption	Energy consumption (fuel, electricity, natural gas, heating oil, etc.) required by the option, including transportation to and from the site, GJ or MMBTU primary fuel equivalent (PFE). Renewable energy and energy efficiency alternatives are encouraged. A normalized score is derived based on the energy consumption of the different options. The option with the highest level of energy consumption gets 0.	Lasketaan ohjelmassa olevalla laskentatyökalulla.

Waste	Amount of waste generated by the option, which may include excavated soils, recovered LNAPL, activated carbon, etc., in tonnes. Quantities diverted from landfill (reused, recycled, revalorized) should be excluded from the total amount of waste. Hazardous waste is considered separately (definition varies by jurisdiction). A normalized score is derived based on the amount of waste generated by the options. The option with the highest level of waste generation gets 0.	Jätteen määrä syötetään tonneina
Waste Management	Waste management strategies provided by each option. A waste hierarchy is used to classify the strategies according to their desirability.	0 = Landfill to accredited site. 25 = Energy recovery through efficient incineration. Disposal to landfill is minimized. 50 = Recycling/reuse measures are optimized. Disposal to landfill and/or energy recovery is minimized. 75 = Combination of reduction, recycling/reuse measures are optimized. Disposal to landfill and/or energy recovery is minimized. 100 = Reduction of waste that would otherwise be generated is optimized. Disposal to landfill and/or energy recovery is minimized.
Hazardous Waste	Amount of hazardous waste (definition varies by jurisdiction) generated by the option, in tonnes. A normalized score is derived based on the amount of hazardous waste and site contaminants generated by the options. The option with the highest level of hazardous waste generation gets 0	Jätteen määrä syötetään tonneina
Water Usage	Amount of water required by the option, as a measure of the depletion of a clean water source during the course of the rehabilitation project, in litres or US gallons. Only clean water should be considered. Water treated as part of the remediation project, for example, is excluded. A normalized score is derived based on the amount of water used by the different options.	Veden määrä syötetään litroina

Taulukko 2. Sosiaalisen osa-alueen indikaattorit ja niiden kuvaukset (Golder Associates, 2016)

Indikaattori	Kuvaus	Pisteytyksen kuvaus
Duration of Work	Measures the duration of each option. This indicator is evaluated based upon numerical values provided by the analyst.	Kunnostusajat syötetään ohjelmaan
Community Perception	Extent to which the option addresses public and Aboriginal sensitivities and concerns. Not applicable if there are no third party / public stakeholders concerned or affected by the project. Provides a qualitative measure on the level and likelihood of concern from the community with regards to the impacts of the option.	0 = Option fails to address public sensitivities and concerns: option likely to be perceived very negatively by the public 33 = Option partially fails to address public sensitivities and concerns: option likely to be perceived somewhat negatively by the public 66 = Option to partially address public sensitivities and concerns: option likely to be perceived somewhat positively by the public 100 = Option to address most of the public sensitivities and concerns: option likely to be perceived very positively by the public
Quality of Life	Impact of the option on the quality of life associated with the execution of the option (e.g. aesthetics, public exposure to noise, dust, traffic, etc.)	0 = Significant potential impact(s) 33 = Moderate potential impact(s) 66 = Minor potential impact(s) 100 = No potential impact
Access to lands and resources	Resulting impacts of the option on the use of the site (if any) and its surroundings by the public, including Aboriginal peoples	0 = No possible benefits from the property 33 = Major restrictions for use 66 = Minor restrictions for use 100 = No restrictions for use
Public Safety	Potential negative impacts of the option on public (residents, transients) safety.	0 = Significant potential impact(s) on the community 33 = Moderate potential impact(s) on the community 66 = Minor potential impact(s) on the community 100 = No potential impact on the community
Worker's Safety	Potential negative impacts of the option on the health and safety of workers and contractors' staff (accidents, time off, illness, etc.)	0 = Includes activities of HIGH risk (This assumes that there is a fatal-flaw analysis - if risk of VERY HIGH / EXTREME found) 33 = All activities LOW or MODERATE risk 66 = All activities LOW or MODERATE risk. Majority of activities LOW risk 100 = All activities LOW risk

Local Job Creation and Diversity	Intensity of local job creation and participation of individuals who identify with minority groups.	0 = No local job creation (all labour hired outside of the region) 33 = Short-term local employment 66 = Long-term local job creation (professional and manual labour) 100 = Long-term local job creation and individuals who identify with minority groups will be involved in the project
Permits & Authorizations	Ease of obtaining necessary permits and approvals for the option.	0 = Approval process likely to be difficult and/or lengthy, and approval is uncertain 33 = Approval process likely to be difficult and/or lengthy, but approval is probable 66 = Approval process expected to be straightforward 100 = Approval process expected to be straightforward, with previous successful applications for similar projects

Taulukko 3. Taloudellisen osa-alueen indikaattorit (Golder Associates, 2016)

Indikaattori	Kuvaus	Pisteytyksen kuvaus
Net Present Value of Options' Costs	Measure of the present value of the costs (including initial capital expenditure and O&M expenses) over the life of the project. A normalized score is derived based on the NPV of the options. The most expensive option gets 0.	Kustannukset syötetään laskuriin
Service Reliability and Performance	Likelihood of delays, interferences with on-site activities and service disruptions associated with the implementation of the option.	0 = Major delays/disruptions to services 33 = Potential moderate delays/disruptions 66 = Potential minor delays/disruptions 100 = No anticipated delays/disruptions

Taulukko 4. Teknisen osa-alueen indikaattorit ja niiden kuvaukset (Golder Associates, 2016)

Indikaattori	Kuvaus	Pisteytyksen kuvaus
Upgradability of the Technology	Assesses the level of effort required for expansion, potential optimization over time and accommodating changes in operation – for a specified range of design criteria.	0 = Very limited adaptive capacity with significant constraints/restrictions; significant efforts required 33 = Limited adaptive capacity with major constraints/restrictions; major efforts required 66 = Moderate adaptive capacity with some constraints/restrictions; moderate efforts required 100 = Adaptive capacity is built into the system; minimal or no efforts anticipated
Construction Complexity	Relative level of construction complexity associated with each option, considering logistics and required construction method, when applicable, such as cofferdams, grouting, etc. More complex construction methods may lead to delays and problems during operation.	0 = Novel or advanced construction methods required 33 = Standard construction. More complex construction methods 66 = Standard construction. Simple construction methods 100 = Package plant/unit - minor on-site construction required
Operation & Maintenance Complexity	Complexity of regular operation and maintenance (O&M) and of troubleshooting the technology in the event of failure or poor performance. The frequency of O&M interventions can also be taken into account to assess O&M complexity.	0 = Very high maintenance technology / O&M on a weekly basis 33 = High maintenance technology / O&M on a monthly basis 66 = Low maintenance technology / O&M on a quarterly basis 100 = Very low maintenance technology / O&M on an annual basis
Decommissioning Complexity	Level of efforts required in the decommissioning of the technology (underground infrastructure; electrical network; hazardous material and solid waste; health risks; complexity of demolition works; additional off-site operations; fugitive emissions control, etc.).	0 = Significant effort / complexity 33 = Some effort 66 = Limited effort 100 = Minimal effort
Risk of Failure	Environmental, health and safety risk resulting from a failure of the proposed technology. The evaluation of the risk must take into account both the severity and the likelihood of the event.	0 = Major. 33 = Moderate. 66 = Minor. 100 = Insignificant.

Technological Uncertainty	Level of confidence that the technology/approach can be applied successfully to the site. Assessment based on previous experience with the technology/approach and the availability of the site-specific data.	0 = High uncertainty: Few precedents in similar environments/conditions and/or limited data available 33 = Moderate uncertainty: Some precedents in similar environments/conditions and/or some site-specific data available 66 = Low uncertainty: Many precedents in similar environments/conditions and supporting site characterization data is available 100 = Very low uncertainty: Many precedents in similar environments and supporting site-specific data from pilot testing is available
----------------------------------	--	---

Huoltoasemakohteen skaalatut tulokset

Taulukko 1. Huoltoasemakohteen ympäristöindikaattorien tulokset ja niiden perustelut

Indikaattori	Pisteytys			Perustelu		
	Tehostettu biologinen puhdistus	Massan kaivuu ja kaatopaikka-sijoitus	Tehostettu biologinen kunnostus ja massan kaivuu	Tehostettu biologinen puhdistus	Massan kaivuu ja kaatopaikkasijoitus	Tehostettu biologinen kunnostus ja massan kaivuu
Maaperän laatu	66	100	100	Maanperän puhdistumisen epävarmuus		
Kavihuonekaasu päästöt	100	0	25			
Päästöt ilmaan	66	33	33		Kuljetuksista syntyvät päästöt	Kuljetuksista syntyvät päästöt
Energian kulutus	100	0	25			
Jätteen määrä	92	0	49			
Jätteen käsittely	100	0	75	Ei synny merkittäviä määriä jätettä	Massat sijoitetaan kaatopaikalle, ei jätteiden hyödyntämistä	

Taulukko 2. Huoltasemakohteen sosiaalisten indikaattorien tulokset ja niiden perustelut

Indikaattori	Tehostettu biologinen puhdistus	Massan kaivuu ja kaatopaikkasijoitus	Tehostettu biologinen kunnostus ja massan kaivuu	Tehostettu biologinen puhdistus	Massan kaivuu ja kaatopaikkasijoitus	Tehostettu biologinen kunnostus ja massan kaivuu
Työn kesto	0	100	24			
Työstä aiheutuvat häiriöt	66	66	66			
Alueen käyttö	100	66	66		Maankäytön rajoitus kaivuun yhteydessä	Maankäytön rajoitus kaivuun yhteydessä
Yleinen terveys ja turvallisuus	100	100	100	Ei turvallisuusriskejä	Ei turvallisuusriskejä	Ei turvallisuusriskejä
Työntekijöiden terveys ja turvallisuus	66	66	66			

Taulukko 3. Huoltoasemakohteen taloudelliset indikaattorien tulokset

Indikaattori	Tehostettu biologinen puhdistus	Massan kaivuu ja kaatopaikkasijoitus	Tehostettu biologinen kunnostus ja massan kaivuu	Tehostettu biologinen puhdistus	Massan kaivuu ja kaatopaikkasijoitus	Tehostettu biologinen kunnostus ja massan kaivuu
Kokonaiskustannukset	100	0	86			
Menetelmän taloudelliset epävarmuudet	66	100	100	Toiminnan suurempi epävarmuus		

Taulukko 4. Huoltoasemakohteen teknisten indikaattorien tulokset ja niiden perustelut

Indikaattori	Tehostettu biologinen puhdistus	Massan kaivuu ja kaatopaikkasijoitus	Tehostettu biologinen kunnostus ja massan kaivuu	Tehostettu biologinen puhdistus	Massan kaivuu ja kaatopaikkasijoitus	Tehostettu biologinen kunnostus ja massan kaivuu
Menetelmän joustavuus	33	100	66			
Rakentamisen monimutkaisuus	66	100	66	Ravinneputkien asennus		Ravinneputkien asennus
Toteutuksen ja ylläpidon monimutkaisuus	66	100	66	Ravinneliuoksen syöttö ja optimointi		Ravinneliuoksen syöttö ja optimointi
Purkutöiden monimutkaisuus	66	33	66		Kaivettujen massojen kuljetus on sisällytetty purkutöihin	
Tekninen epävarmuus	66	100	100			

Ampumaradan skaalatut tulokset

Taulukko 1. Ampumaradan ympäristöindikaattorien tulokset

Indikaattori	Pisteytys			Perustelu		
	Kaivu ja loppusijoitus	Kaivu ja pesu	Reaktiivinen seinämä	Kaivu ja loppusijoitus	Kaivu ja pesu	Reaktiivinen seinämä
Alueen ekologiset vaikutukset	0	0	33			Maata ei kaiveta
Kasvuhuonekaasupäästöt	9	0	100			
Päästöt ilmaan	66	33	100			
Pohjaveden laatu	0	0	100	Pohjavettä ei kunnosteta	Pohjavettä ei kunnosteta	Pohjavesi kunnostetaan
Vaikutukset talousveden saantiin	0	0	100	Vesi ei säily juomakelpoisena	Vesi ei säily juomakelpoisena	Vesi vedenottamalla säilyy juomakelpoisena
Energian kulutus	9	0	100			

Taulukko 2. Ampumaradan ympäristöindikaattorien tulokset (jatkoa)

Indikaattori	Pisteytys			Perustelu		
	Kaivu ja loppusijoitus	Kaivu ja pesu	Reaktiivinen seinämä	Kaivu ja loppusijoitus	Kaivu ja pesu	Reaktiivinen seinämä
Jätteen määrä	0	100	100			
Jätteen käsittely	0	75	100		Maa-aines kierrätetään kohteessa	
Vaarallisen jätteen määrä	100	0	100			
Veden käyttö	100	0	100		Vettä käytetään ainoastaan pesussa	
Kunnostettavan maaperän määrä	100	100	0			Maaperään jätetään haitta-aineita

Taulukko 3. Ampumaradan sosiaalisten indikaattorien tulokset

Indikaattori	Pisteytys			Perustelu		
	Kaivu ja loppusijoitus	Kaivu ja pesu	Reaktiivinen seinämä	Kaivu ja loppusijoitus	Kaivu ja pesu	Reaktiivinen seinämä
Alueen sosiaaliset näkemykset	100	100	33			Sosiaalinen hyväksyttävyys haitta-aineiden jättämiselle maaperään
Työstä aiheutuvat häiriöt	33	66	100	Häiriöt kaivuusta ja kuljetuksista	Häiriöt kaivuusta	
Alueen käyttö	100	100	33			Maankäytön rajoitus
Yleinen terveys ja turvallisuus	33	66	100	Turvallisuusriskit kuljetuksista		
Alueelliset työllistävät vaikutukset	33	33	0	Uuden vedenottamon rakentaminen	Uuden vedenottamon rakentaminen	
Työn kesto	100	100	0			

Taulukko 4. ampumaradan taloudellisten indikaattorien tulokset

Indikaattori	Pisteytys			Perustelu		
	Kaivu ja loppusijoitus	Kaivu ja pesu	Reaktiivinen seinämä	Kaivu ja loppusijoitus	Kaivu ja pesu	Reaktiivinen seinämä
Kokonaiskustannukset	0	30	100			

Taulukko 5. ampumaradan teknisten indikaattorien tulokset

Indikaattori	Pisteytys			Perustelu		
	Kaivu ja loppusijoitus	Kaivu ja pesu	Reaktiivinen seinämä	Kaivu ja loppusijoitus	Kaivu ja pesu	Reaktiivinen seinämä
Rakentamisen monimutkaisuus	100	33	0	Yksinkertainen tekniikka	Pesulaitteiston kokoaminen	Reaktiivisen seinämän rakennus
Toteutuksen ja ylläpidon monimutkaisuus	100	33	0	Yksinkertainen tekniikka	Maaperän pesu	Pohjaveden laadun tarkkailu
Epäonnistumisriski	100	33	0	Ei riskejä	Haitta-aineita pääsy takaisin maaperään	Riski pohjaveden pilaantumiselle
Tekninen epävarmuus	100	66	33	Yksinkertainen tekniikka	Pesu ei välttämättä poista kaikkia haitta-aineita	Epävarmuus seinämän toiminnassa

Sahan skaalatut tulokset

Taulukko 1. Saha-alueen ympäristöindikaattorien tulokset ja tulosten perustelut

Indikaattori	Pisteytys			Perustelu		
	Massanvaihto	Massanvaihto ja peitto	Massanvaihto ja poltto	Massanvaihto	Massanvaihto ja peitto	Massanvaihto ja poltto
Kasvihuonekaasu päästöt	99	100	0			
Energian kulutus	99	100	0			
Jätteen määrä	0	100	100		Syntyy ainoastaan ongelmajätettä	Syntyy ainoastaan ongelmajätettä
Jätteen käsittely	0	75	0			
Vaarallisen jätteen määrä	100	100	0			
Kunnostetun maaperän määrä	100	0	100		Maaperään jätetään haitta-aineita	

Taulukko 2. Saha-alueen sosiaalisten indikaattorien tulokset ja tulosten perustelut

Indikaattori	Pisteytys			Perustelu		
	Massanvaihto	Massanvaihto ja peitto	Massanvaihto ja poltto	Massanvaihto	Massanvaihto ja peitto	Massanvaihto ja poltto
Alueen sosiaaliset näkemykset	100	33	100		Haitta-aineiden jättäminen maaperään	
Alueen käyttö	66	66	66			
Yleinen terveys ja turvallisuus	33	66	33	Kuljetuksista aiheutuvat turvallisuusriskit		Kuljetuksista aiheutuvat turvallisuusriskit
Työntekijöiden terveys ja turvallisuus	33	66	33	Kuljetuksista aiheutuvat turvallisuusriskit		Kuljetuksista aiheutuvat turvallisuusriskit
Luvat ja vaatimukset	66	33	66		Suurempi epävarmuus luvan saamiseksi	
Työn kesto	50	50	50			

Taulukko 3. Saha-alueen taloudellisten indikaattorien tulokset ja tulosten perustelut

Indikaattori	Pisteytys			Perustelu		
	Massanvaihto	Massanvaihto ja peitto	Massanvaihto ja poltto	Massanvaihto	Massanvaihto ja peitto	Massanvaihto ja poltto
Kokonaiskustannukset	67	100	0			

Kauppapuutarhan skaalatut tulokset

Taulukko 1. Kauppapuutarhan ympäristöindikaattorien tulokset

Indikaattori	Pisteytys			Perustelu		
	Massanvaihto	Massanvaihto ja peitto	Peitto	Massanvaihto	Massanvaihto ja peitto	Peitto
Kasvihuonekaasupäästöt	100	0	73			
Päästöt ilmaan	33	66	100	Ilmanpäästöt kaivuusta		
Energian kulutus	100	0	73			
Jätteen määrä	0	74	100			
Jätteen käsittely	50	75	100			
Kunnostetun maaperän määrä	100	26	0		Maaperään jätetään osa haitta-aineista	Maaperään jätetään haitta-aineet

Taulukko 2. Kauppapuutarhan sosiaalisten indikaattorien tulokset

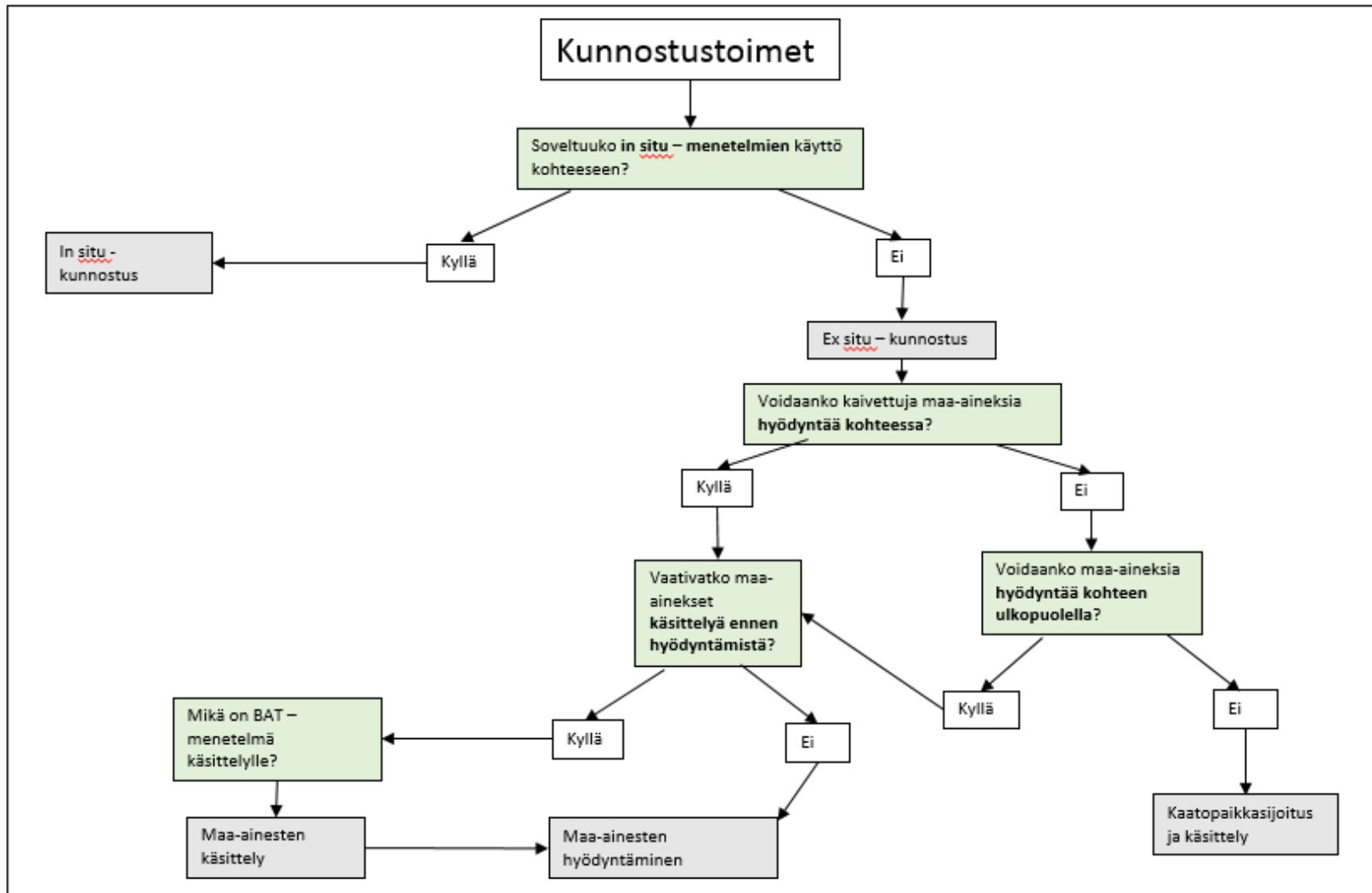
Indikaattori	Pisteytys			Perustelu		
	Massanvaihto	Massanvaihto ja peitto	Peitto	Massanvaihto	Massanvaihto ja peitto	Peitto
Alueen sosiaaliset näkemykset	100	66	33		Maaperään jätetään haitta-aineita	Maaperään jätetään haitta-aineita
Alueen käyttö	0	66	66	Rajoitettu maankäyttö kunnostuksen aikana		
Yleinen terveys ja turvallisuus	66	66	100	Turvallisuusriskit pilaantuneiden maiden kuljetuksista	Turvallisuusriskit pilaantuneiden maiden kuljetuksista	
Työn kesto	50	50	50			

Taulukko 3. Kauppapuutarhan taloudellisten indikaattorien tulokset

Indikaattori	Pisteytys			Perustelu		
	Massanvaihto	Massanvaihto ja peitto	Peitto	Massanvaihto	Massanvaihto ja peitto	Peitto
Kokonaiskustannukset	0	92	100			

Päätösmallit pilaantuneiden maa-alueiden riskinhallinnalle

Kuva 1. Päätösmalli kunnostustoimista



Kuva 2. Päätösmalli maankäytön suunnittelusta ja kunnostuksen ajoituksesta

